



**Ana Margarida
Nunes dos Santos**

Rochas Magmáticas na região da Serra da Estrela.

Uma aplicação didáctica.



**Ana Margarida
Nunes dos Santos**

**Rochas Magmáticas na região da Serra da Estrela.
Uma aplicação didáctica.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Geologia e Biologia, realizada sob a orientação científica da Dra. Maria Estela Rodrigues Martins, Professora Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho a todos quantos se preocupam com o ensino, nomeadamente da Geologia.

(...) Por outro lado sinto a necessidade de me opor à ideia de que a escola deva directamente ensinar conhecimentos e destrezas especiais que tenham como objectivo imediato o fazer uso deles mais tarde na vida. As exigências da vida são bem mais variadas para tornar possível um tal ensino na escola. Mais ainda, parece-me inadmissível tratar o indivíduo como um utensílio morto. A escola deve sempre aspirar o seguinte: que o jovem ao deixá-la seja uma personalidade harmoniosa e não um especialista. (...) A principal finalidade do homem deveria ser sempre o desenvolvimento da capacidade de pensar e de julgar de modo independente e não a aquisição de conhecimentos especiais.

Albert Einstein

Júri

presidente

Doutor Luís Manuel Ferreira Marques
(Professor Associado da Universidade de Aveiro)

vogais

Doutora Maria Elisa Preto Gomes
(Professora Associada da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro)

Doutora Maria Estela Rodrigues Martins
(Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro)

agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o incentivo e a colaboração de muitas pessoas amigas, que estiveram mais ou menos presentes e a quem gostaria de expressar o meu sincero agradecimento.

À Professora Doutora Maria Estela Rodrigues Martins, que aceitou o desafio de orientar este trabalho, agradeço os ensinamentos partilhados, o empenho e a dedicação, a disponibilidade incondicional e as palavras de incentivo que possibilitaram a conclusão desta longa tarefa.

À Professora Maria do Rosário Azevedo, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, agradeço toda a disponibilidade prestada, a partilha de conhecimentos, os conselhos e palavras de incentivo.

Ao Professor Doutor Luís Marques, do Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa da Universidade de Aveiro, agradeço a disponibilidade prestada e a importantíssima bibliografia cedida, relativa à problemática do Trabalho de Campo.

Ao Engenheiro responsável pela Pedreira do Monte das Carrascas, agradeço as facilidades concedidas na obtenção de amostras.

À Elisabete, os meus sinceros agradecimentos pela troca de ideias e as sugestões apresentadas, pela amizade, encorajamento permanente e companhia na partilha dos bons e maus momentos.

Aos meus amigos Vítor, Hugo e Sérgio, agradeço as palavras de encorajamento que me ajudaram a persistir nesta tarefa, bem como na disponibilidade que sempre demonstraram na resolução das constantes tropelias que os computadores adoram fazer.

À minha família mais próxima, agradeço a compreensão pelos momentos de ausência em que trabalhava, as palavras de incentivo e a partilha de todas as alegrias e tristezas. Realço ainda, as tropelias e momentos de boa disposição dados pela minha cadela e gata (Mikas e Tita) e, postumamente, a companhia dos meus cães e gato (Pitico, Nico e Pigo) nas longas horas em que ficava agarrada ao computador.

Agradeço ainda a todos os que tiveram uma palavra amiga, de confiança e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

palavras-chave

magmatismo, Serra da Estrela, trabalho de campo, didáctica da geologia.

resumo

A zona do Parque Natural da Serra da Estrela constitui um local único no país, sendo reconhecida pela neve que costuma fazer as delícias de novos e velhos. A sua paisagem diversificada, a qualidade dos recursos hídricos, os endemismos, as raridades das espécies de fauna e flora, bem como os usos e costumes da região, são razões mais do que suficientes para atrair o indivíduo mais distraído. Contudo, no meio de tantas pérolas, muitas vezes se esquece aquela que permite a existência da própria Serra da Estrela: a geologia.

Este trabalho é o resultado de um estudo sobre a geologia desta área, mais especificamente sobre as rochas magmáticas que aí afloram, tendo como objectivos planificar a unidade de ensino "Magmatismo e Rochas Mágmatícas" do Programa de Biologia e Geologia do 11º ano e seleccionar locais com interesse didáctico, com vista à realização de uma saída de campo.

Assim, depois da introdução, onde se faz a apresentação do presente trabalho, sucede-se o capítulo 2, onde se faz uma breve descrição teórica sobre os processos que levam à formação de uma enorme variedade de rochas magmáticas. Neste capítulo conclui-se que a diversidade química/mineralógica das rochas granitóides pode ser produzida por um grande número de processos petrogenéticos, que não são mutuamente exclusivos.

No terceiro capítulo faz-se referência à caracterização geológica da zona estudada (a região do PNSE), quer com base na bibliografia, quer nos dados recolhidos durante o trabalho de campo. Apresenta-se uma caracterização mais detalhada de três zonas de mistura de magmas (Pedreira do Monte das Carrascas, Lagoa Comprida, e Fornos-Viseu).

No quarto capítulo apresentam-se os dados obtidos a partir da análise petrográfica e geoquímica das amostras recolhidas na Pedreira do Monte das Carrascas, incluindo também dados de amostras que foram estudadas por investigadores da Universidade de Aveiro, no âmbito do Projecto PRAXIS 2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) - "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta". As evidências de campo, petrográficas e geoquímicas mostram que os granitos foram gerados a partir de fontes mistas e evoluíram em sistema aberto.

No último capítulo apresenta-se a proposta de planificação da unidade "Magmatismo e Rochas Mágmatícas", enfatizando-se a importância, para o ensino das Ciências, do Trabalho de Campo, organizado numa perspectiva construtivista.

Os materiais didácticos para apoio dos professores e os roteiros das saídas de campo são apresentados em Anexo. Em anexo apresentam-se ainda os dados das análises químicas das amostras colhidas.

keywords

magmatism, Serra da Estrela, field work, didactic of geology

abstract

The region of the Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE) constitutes a unique place in Portugal, being recognized for its snowy conditions in winter, which make the delight of both young and old visitors. The diversity of the scenery, the quality of the water resources, the presence of endemic species, the richness of the fauna and flora, as well as the peculiarity of the native uses and customs make it an extremely attractive area. However, it is often forgotten that the Serra da Estrela is a product of geological processes.

This work is the result of the study of the geology of this region, more specifically the magmatic rocks that outcrop in the area. The present work has the following purposes: planning of the unit "Magmatism and Magmatic Rocks" of the Program of Biology and Geology of 11^o year and selection of interesting zones for the development of field work for the study of igneous rocks and its magmatic evolution.

Thus, after the general presentation of the work in the 1st Chapter, the 2nd Chapter deals with a brief theoretical description of the processes of magma generation and differentiation, which lead to the formation of an enormous variety of magmatic rocks. In this chapter it is concluded that the chemical/mineralogical diversity of the granitoid rocks can be produced by a great number of petrogenetic processes that are not mutually exclusive.

The 3rd Chapter is dedicated to the geologic characterization of the studied zone (the region of the PNSE), based in the bibliography as well as in the data collected during the field work. A detailed characterization of three mixing zones is also presented (quarry of the Monte das Carrascas, Lagoa Comprida and Fornos-Viseu).

The 4th Chapter is dedicated to the petrographic description and geochemical interpretation of granitoid samples collected in the field (Pedreira do Monte das Carrascas). To complement our data, we also included in this chapter the geochemical data obtained in the scope of the project PRAXIS 2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) - "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta". The field, petrographic and geochemical evidences show that the granites have been generated from mixed sources and had evolved in an open system.

In the last chapter it is described the planning of the unit "Magmatism and magmatic rocks", which is part of the discipline of Biology and Geology (11th grade, Secondary School). In it we emphasise the importance of field work for the Natural Sciences, organized in a constructivist perspective.

The didactic materials for teachers and students, as well as the geochemical data are presented in the Annexes.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTIVOS DO TRABALHO	4
1.2. METODOLOGIA DO TRABALHO	5
1.3. ESTRUTURA DA TESE	6
2 – PROCESSOS MAGMÁTICOS	9
2.1 – MECANISMOS ENVOLVIDOS NA PETROGÉNESE GRANÍTICA	9
2.2 – FUSÃO PARCIAL	10
2.2.1 – Processos de Fusão Parcial	14
2.2.1.1 - Fusão parcial fraccionada	14
2.2.1.2 - Fusão parcial em equilíbrio ("batch melting")	14
2.3 – DIFERENCIAÇÃO DE MAGMAS	15
2.3.1 – Processos de Diferenciação	16
2.3.1.1 – Cristalização em Equilíbrio	16
2.3.1.2 - Cristalização Fraccionada	16
2.3.1.3 - Mistura de Magmas	17
2.3.1.4 - Assimilação (Contaminação)	22
2.3.1.5 - Imiscibilidade de Líquidos	22
3 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ZONA ESTUDADA	25
3.1. - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	25
3.1.1. - O Maciço Hespérico	26
3.1.2. - A Zona Centro-Ibérica	28
3.1.2.1. – Deformação	30
3.1.2.2. – Metamorfismo	32
3.1.2.3. – Magmatismo	33
i. Classificação petrográfica e geoquímica	33
ii. Classificação estrutural e geocronológica	36
iii. Génese dos granitóides hercínicos	39
3.2. – GEOLOGIA DA ZONA ESTUDADA	40
3.2.1. - Parque Natural da Serra da Estrela	40
3.2.1.1. – Pedreira do Monte das Carrascas	43
3.2.1.2. – Lagoa Comprida	53
3.2.1.3 – Zona de Viseu – Fornos de Algodres	58

4 – PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA	65
4.1. – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	65
4.1.1 - Granito Porfíroide Biotítico	65
4.1.1.1. – Feldspato potássico.....	66
4.1.1.2. – Plagioclase	67
4.1.1.3. – Quartzo.....	68
4.1.1.4. – Biotite	69
4.1.1.5. – Moscovite.....	70
4.1.1.6. – Apatite, Zircão e Opacos.....	70
4.1.1.7. – Ordem de cristalização dos minerais	70
4.1.2- Granito de grão fino, não porfíroide de duas micas.....	72
4.1.3 - Rochas Intermédias-Ácidas e Encraves Máficos Microgranulares	74
4.1.3.1. – Feldspato potássico.....	76
4.1.3.2. – Plagioclase	77
4.1.3.3 – Quartzo.....	79
4.1.3.4 - Biotite	79
4.1.3.5 – Apatite e Zircão.....	80
4.1.4 – Composição Modal e Classificação Petrográfica.....	82
4.2. – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	85
4.2.1 - Elementos Maiores e Menores.....	85
4.2.1.1 - Titânio, Ferro e Manganês.....	85
4.2.1.2 – Magnésio, Cálcio e Alumínio.....	87
4.2.1.3 - Fósforo	87
4.2.1.4 – Sódio e Potássio	90
4.2.2 - Elementos Traço	90
4.2.2.1 - Bário, Rubídio e Estrôncio.....	90
4.2.2.2 – Ítrio e Zircônio	92
4.2.3 – Terras Raras	94
4.2.4 - Diagramas de Classificação Química	98
4.2.4.1 – Aluminosidade.....	98
4.2.4.2 – Classificação Química	101
4.3. – CONCLUSÃO	102

5 – APLICAÇÃO DIDÁCTICA	105
5.1. – INTRODUÇÃO	105
5.1.1 – Um Modelo De Saída De Campo De Raiz Construtivista	110
5.2. – PROPOSTA DE PLANIFICAÇÃO DA SUBUNIDADE <i>Magmatismo e Rochas Magmáticas</i>, tendo como finalidade a realização de uma saída de campo.....	116
5.2.1. – Enquadramento no Currículo	116
5.2.2. – Planificação da Unidade	119
5.2.3. – Saída de Campo	123
5.2.3.1. - Selecção das paragens.....	123
5.2.3.2. - Organização da Saída (preparação da Saída de Campo, actividades a realizar no campo, actividades a realizar após a saída)	123
5.2.3.2.1. - Preparação da Saída de Campo.....	123
5.2.3.2.2. - Durante a Saída de Campo.....	124
5.2.3.2.3. - Após a Saída de Campo.....	124
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
LIMITAÇÕES DO ESTUDO	127
IMPLICAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES	128
 BIBLIOGRAFIA	129
 ANEXOS	145
ANEXO A – Tabelas de Análises Químicas.....	147
ANEXO B – Actividades a Desenvolver nas Aulas de Preparação.....	153
ANEXO C – Transparências a Utilizar nas Aulas de Preparação.....	173
ANEXO D – Guias a Utilizar nas Saídas de Campo	185
ANEXO E – Actividades a Desenvolver Após a Saída de Campo	209

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 - Gradiente Geotérmico. (Adaptado Murck, 2001)	10
Fig. 2.2 – Efeitos da pressão e da temperatura na fusão da rocha (adaptado de Murck, 2001)	11
Fig. 2.3 – Efeitos do vapor de água na fusão da rocha (adaptado de Murck, 2001)	12
Fig. 2.4 – Esquema mostrando diferentes modelos de mistura de magmas (Castro et al, 1994)	20
Fig. 2.5 – Gráfico esquemático representativo do resultado previsto devido à interacção entre a proporção de magma félsico cristalizado e o momento de injeção de magma máfico (Fernandez & Barbarin, 1991).	21

CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 - Unidades tectónicas da Europa, segundo Stille, 1924, (adaptado de Ribeiro et al, 1979).....	26
Fig. 3.2 - Meseta Ibérica (Fotografia cedida por Estela Martins).....	26
Fig. 3.3 – Zonas Paleogeográficas e tectónicas do Maciço Hespérico (adaptado de Julivert et al, 1980 e Farias et al, 1987).....	27
Fig. 3.4 – Domínios estruturais da Zona Centro Ibérica (in Díez Balda et al., 1990)	29
Fig. 3.5 - Evolução estrutural da Zona Centro Ibérica durante o ciclo Varisco (extraído de Dias & Ribeiro, 1994).	32
Fig. 3.6- Distribuição dos granitóides Hercínicos no Norte da Zona Centro Ibérica de Portugal (Dias, 1987).	37
Fig. 3.7 – Localização do PNSE (extraído da Carta Geológica Simplificada do PNSE, 1999).....	40
Fig. 3.8 - Folhas da Carta Geológica à escala 1:50 000, publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal, cartografam a área do Parque Natural da Serra da Estrela. Extraído da Carta Geológica Simplificada do PNSE, 1999.....	41
Fig. 3.9 – Carta Geológica do Parque Natural da Serra da Estrela (adaptado da Carta Geológica Simplificada do PNSE, 1999)	42
Fig. 3.10 – Extracto da Carta Geológica de Portugal 1:50 000, 18-A (Vila Franca das Naves), publicada em 1963, pelos Serviços Geológicos de Portugal. Pedreira do Monte das Carrascas – assinalada a castanho	44
Fig. 3.11 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M) – Zona de mistura da Pedreira do Monte das Carrascas.....	45 – 50
Fig. 3.12 (A, B) – Filão básico que aflora na Pedreira do Monte das Carrascas	52
Fig. 3.13 – Extracto da Carta Geológica do PNSE, adaptado e simplificado	53
Fig. 3.14 – Granito Epissienitizado da Lagoa Comprida.....	54
Fig. 3.15 (A, B, C, D) – Zona de mistura da Pedreira do Covão do Curral.....	56 - 57
Fig. 3.16 – Extracto da carta geológica de Viseu-Fornos de Algodres, simplificada a partir de Azevedo et al. (2005).....	58

Fig. 3.17 – Vista geral da zona de mistura do Dão (Penalva do Castelo)	61
Fig. 3.18 (A, B, C, D) – Zona de mistura do Dão (Penalva do Castelo)	62 – 63

CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 – Aspecto microscópico geral do granito porfiróide de grão grosseiro da PMC. Nicóis cruzados.	66
Fig. 4.2 – Fenocristal de microclina moscovitizada, com inclusões de biotite e plagioclase (granito porfiróide epissienitizado da Lagoa Comprida). Nicóis cruzados.....	67
Fig. 4.3 – Aspecto microscópico do granito porfiróide epissienitizado da LC. Nicóis cruzados	67
Fig. 4.4 – Plagioclase com zonamento oscilatório (granito porfiróide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis cruzados.....	68
Fig. 4.5 – Quartzo com subgranulação (granito porfiróide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis cruzados	68
Fig. 4.6 – Moscovitização da biotite (granito porfiróide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis paralelos.....	69
Fig. 4.7 - Biotite de cor verde, parcialmente cloritizada (granito epissienitizado da LC). Nicóis paralelos.....	69
Fig. 4.8 – Diagrama experimental T-H ₂ O para o granito biotítico de Bohus (SiO ₂ - 71.30 %; Corindo normativo - 0%) (adaptado de Maaloe e Wyllie, 1975).....	70
Fig. 4.9 – Aspecto microscópico do granito de grão fino, não porfiróide de duas micas da PMC. Nicóis cruzados	72
Fig. 4.10 – Microclina com inclusões de quartzo gótico (granito de grão fino, não porfiróide, de duas micas da PMC). Nicóis cruzados	73
Fig. 4.11 – Aspecto microscópico de uma rocha intermédia-ácida da PMC. Nicóis cruzados	74
Fig. 4.12 – Textura simplectítica (rocha intermédia-ácida da PMC). Nicóis cruzados	75
Fig. 4.13 – Aspecto geral dos encaves máficos microgranulares da PMC, sendo visível um microfenocristal de plagioclase zonado. Nicóis cruzados	75
Fig. 4.14 – Aspecto geral do contacto entre um encave máfico microgranular e uma rocha intermédia-ácida da PMC. Note-se a concentração de biotite e a progressiva diminuição do tamanho do grão no granito na zona de contacto. Nicóis cruzados	76
Fig. 4.15 – Plagioclase sericitizada apresentando zonamento complexo (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis cruzados.....	77
Fig. 4.16 – Plagioclase com zonamento oscilatório, sendo também visível a macla polissintética (encaves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados	77
Fig. 4.17 – Quartzo gótico no seio de plagioclase (encaves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados	78
Fig. 4.18 – Mirmequites no bordo de um cristal de plagioclase (rocha intermédia-ácida da PMC). Nicóis cruzados	78

Fig. 4.19 – Megacrystal de plagioclase com zonamento, incluída numa matriz de grão fino (encrave máfico microgranular da PMC). Nicóis cruzados	78
Fig. 4.20 – Megacrystal de plagioclase com zonamento oscilatório, incluída numa matriz de grão mais fino (rocha intermédia – ácida da PMC). Nicóis cruzados	79
Fig. 4.21 – Xenocrystal de quartzo, incluído numa matriz de grão mais fino (rocha intermédia – ácida da PMC). Nicóis cruzados	79
Fig. 4.22 – Aspecto microscópico dos encraves máficos microgranulares da PMC. Note-se a abundância de biotite. Nicóis paralelos.....	80
Fig. 4.23 – Schlieren biotítico (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis cruzados.....	80
Fig. 4.24 – Cristais de apatite de grandes dimensões e hábito colunar (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis paralelos.....	81
Fig. 4.25 – Apatite acicular (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis paralelos.....	81
Fig. 4.26 – Zircão incluído em biotite e plagioclase (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados.....	81
Fig. 4.27 – Projectão de amostras no diagrama QAP de Streckeisen (1976).....	83
Fig. 4.28 – Diagramas de variação de TiO_2 , Fe_2O_3 total e MnO , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.....	86
Fig. 4.29 – Diagramas de variação do MgO , CaO e Al_2O_3 , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.....	88
Fig. 4.30 – Diagramas de variação do P_2O_5 , K_2O e Na_2O , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.....	89
Fig. 4.31 – Diagramas de variação do Ba , Rb e Sr , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu	91
Fig. 4.32 – Diagramas de variação do I e Zr , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.....	93
Fig. 4.33 – Diagrama de variação dos teores totais de Terras Raras (valores normalizados), contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos-Viseu	95
Fig. 4.34 – Padrões de Terras Raras dos granitos porfiróides biotíticos, da PMC e Fornos-Viseu.....	96
Fig. 4.35 – Padrões de Terras Raras para as rochas intermédias-ácidas, da PMC e Fornos-Viseu.....	96
Fig. 4.36 – Padrões de Terras Raras para os encraves máficos microgranulares, da PMC e Fornos -Viseu.....	97
Fig. 4.37 – Padrões de Terras Raras (valores normalizados) para os vários grupos de rochas, quer da PMC, quer de Fornos - Viseu.....	97
Fig. 4.38 – Diagrama de variação da razão A/CNK vs SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu	99
Fig. 4.39 – Projectão de amostras no diagrama A-B de Debon e LeFort (1983), dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.....	100
Fig. 4.40 – Projectão de amostras no diagrama R1-R2 de La Roche <i>et al</i> (1980), dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos-Viseu.....	101

CAPÍTULO 5

Fig. 5.1 – Modelo em espiral que integra a Viagem de Campo entre momentos de aprendizagem na sala de aula. (Extraído de Praia <i>et al.</i> , 1997)	111
Fig. 5.2. – Carta de Exploração geral do Tema IV – Geologia, problemas e materiais do quotidiano (<i>in</i> DES, 2003)	118
Fig. 5.3 – Carta de Exploração da subunidade Magmatismo e Rochas Magmáticas (<i>in</i> DES, 2003)	119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1. – Características dos granitos tipo I e tipo S (adaptado de Chappell & White, 1974)	34
Tabela 3.2. – Critérios geoquímicos e petrográficos para a classificação dos granitóides Hercínicos Ibéricos, segundo Capdevila & Floor (1970) (extraído e adaptado de Azevedo, 1996)	35
Tabela 3.3. – Classificação baseada em critérios tectono-metamórficos (Schermerhorn, 1956; Oen, 1958, 1970) e respectivas idades absolutas (Priem <i>et al.</i> , 1970)	36
Tabela 3.4. – Classificação estrutural e geocronológica dos granitóides Hercínicos Ibéricos	38

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1. – Composição modal média e índice de cor das rochas da Pedreira do Monte das Carras e de Viseu – Fornos de Algodres	82
Tabela 4.2. – Comportamento das Terras Raras nos magmas	94
Tabela 4.3. – Valores máximos, mínimos e médios das razões LaN/YbN, CeN/SmN, GdN/YbN e Eu/Eu*	95

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1. – Conteúdos programáticos, nível de aprofundamento e número de aulas previstas para a subunidade Magmatismo e Rochas Magmáticas (extraído de DES, 2003)	117
Tabela 5.2. – Plano de Unidade de Ensino da subunidade Magmatismo e Rochas Magmáticas. Faz-se referência às actividades propostas, objectivos a atingir e tempos lectivos previstos para o desenvolvimento das actividades	121 - 122

1 - INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas temos assistido a enormes e constantes mudanças socioculturais, relacionadas não só com o aumento populacional, mas também e principalmente com a facilidade com que se podem encurtar distâncias.

Esta sociedade, designada da Informação e do Conhecimento, está marcada pela relevância que o conhecimento científico adquiriu, e pela aproximação do indivíduo à ciência. De facto, somos “bombardeados” diariamente por estudos, descobertas e novas tecnologias que abrangem todas as áreas, desde a investigação espacial à molecular.

Em contacto com tantas áreas, torna-se importante uma intervenção crítica dos cidadãos sobre as questões constantemente levantadas e que interferem directamente com o indivíduo a curto, médio ou longo prazo. Mas para que exista esta intervenção é necessário a aquisição de conhecimentos e a capacidade de uma análise e reflexão crítica sobre as novas descobertas científicas e sobre as novas tecnologias derivadas dessas mesmas descobertas.

Deste modo, o ensino das Ciências toma uma grande importância, no sentido em que os conhecimentos transmitidos aos alunos lhes permitirão adquirir competências que no futuro usem intervindo activamente na sociedade.

Estas preocupações já se encontram presentes no Programa para a disciplina bial de Biologia e Geologia (DES, 2001) onde se reconhece como *“necessária uma educação na área das geociências que permita aos nossos alunos o exercício de uma cidadania crítica, mas, em simultâneo, construtiva e esclarecida, que os leve a questionar e analisar as relações entre avanços científicos, tecnológicos e progresso social”*.

Por outro lado, todas as Ciências têm uma ligação com a realidade, tentando resolver as questões que surgem à medida que se vão observando novos factos e fenómenos. “Para que se respondam a estas questões elaboram-se novos conhecimentos, que permitem novas aplicações e geram novas perguntas ou campos de investigação.” (Prieto, 1998) Sendo assim, a relação com a realidade deverá ser uma das metas do ensino das Ciências em qualquer nível educativo.

No ensino das Ciências *“a realidade está associada com os objectos naturais ou físicos, com os processos, interacções e mudanças que ocorrem no meio, e com as possíveis interpretação para os mesmos, bem como as suas relações e implicações*

sociais” (Prieto, 1998). Tais factos obrigam, em muitos casos, à realização de actividades fora da sala de aula (Praia & Marques, 1998).

De um modo geral, as investigações realizadas em relação à problemática do Ensino das Ciências apontam para que a formação dos alunos vise a compreensão das situações do quotidiano. Isto implica mudanças no processo de Ensino das Ciências ao nível das metodologias utilizadas, bem como em relação ao espaço em que ocorre o ensino: a sala de aula, o laboratório e o campo (Praia & Marques, 1998).

No que respeita em particular ao ensino das Ciências Naturais, as actividades fora da sala de aula assumem grande importância, em particular no ensino das Geociências. Ao ensinar-se Geologia, parece-nos bastante difícil transpor para a realidade da sala de aula, ou mesmo para o laboratório, conceitos bastante complexos relativos ao espaço e ao tempo, pelo que as actividades de Trabalho de Campo aquirem um papel extremamente importante.

Para Paschoale (1988), quando um estudante tem que imaginar os objectos geológicos (dobras, falhas, diaclases ou outras estruturas das rochas) sem os confrontar com a sua visão no campo, a construção mental que realiza é *“uma deformação perversa da realidade”*. (in Pedrinaci, *et al*, 1994)

As próprias orientações do Ministério da Educação para a componente de Geologia, referem a possibilidade de *“diversificar ambientes de aprendizagem, com especial destaque para a realização, de actividades de campo.* (DES, 2001)” Contudo referem também que, à semelhança de outras actividades, *“estas não devem ser vistas como actividades isoladas e complementares, mas antes como acontecimentos contextualizados e perfeitamente integrados nos currículos, dando continuidade ao que se faz na sala de aula e no laboratório. As questões de segurança e certos princípios éticos de actuação do geólogo no campo, em especial, a grande contenção na destruição de afloramentos e colheita de amostras não devem ser esquecidos”* (DES, 2001).

As Visitas de Estudo têm sido consideradas actividades relevantes, senão mesmo fundamentais, no processo de ensino – aprendizagem, reunindo o consenso de professores, alunos, autores de livros de texto, investigadores em desenvolvimento curricular e responsáveis por instituições de natureza muito diversa, desde museus, jardins zoológicos e botânicos, parques urbanos e naturais, a fábricas e empresas. De facto, esta actividade é referida como promotora do desenvolvimento integral do aluno (Almeida, 1998).

Mas na realidade o que acontece, é o esquecimento do trabalho de campo, sendo muitas vezes banido da prática lectiva, ou então resumindo-se a actividades de tipo “*excursionista*”, onde o aluno tem um papel de mero espectador no processo de aprendizagem (Praia & Marques, 1997).

As razões apontadas para explicar este esquecimento do trabalho de campo dividem-se essencialmente em dois grupos de dificuldades: externas e internas (Praia & Marques, 1997). As dificuldades externas referem-se essencialmente a aspectos de natureza administrativa, como por exemplo (Praia & Marques, 1997):

- falta de meios logísticos
- escassez de meios financeiros;
- organização curricular ao nível da própria disciplina e suas relações interdisciplinares;
- número de alunos por professor;
- dificuldade de escolha da área mais apropriada para a realização de trabalho de campo;
- falta de garantia de condições de segurança;
- deficiente formação de professores neste tipo de estratégias, aliada à falta de materiais de apoio;
- desarticulação das actividades de campo com a estrutura e gestão curriculares em que estão inseridas.

Em relação às dificuldades internas, elas dizem respeito à própria natureza da área disciplinar, ou seja, à especificidade do conhecimento geológico (Praia & Marques, 1997), em particular porque exige a compreensão de sistemas que envolvem o espaço e o tempo geológico. Este tipo de aprendizagem é difícil em níveis etários baixos e requer tempo de maturação de ideias. Por outro lado, existem alguns fenómenos geológicos, por vezes de grande espetacularidade visual, que ofuscam outros acontecimentos de dinamismo menos perceptível (Praia & Marques, 1997).

1.1. OBJECTIVOS DO TRABALHO

Cientes das dificuldades que o professor tem pela frente quando pretende realizar actividades de Trabalho de Campo, e tendo em conta a importância deste tipo de trabalho no processo de ensino – aprendizagem, pretendemos deixar aqui um pequeno contributo para uma melhor orientação dos professores de Geologia, colmatando assim algumas das dificuldades anteriormente mencionadas, nomeadamente, a escassez de materiais de apoio para a realização desse tipo de actividades com os alunos.

A escolha do tema e da zona de estudo (Serra da Estrela) surgiu assim em resultado da conjugação de vários factores:

- do interesse que a área de trabalho nos suscitou;
- da importância da realização de actividades práticas, especificamente, o Trabalho de Campo, no ensino das Geociências;
- das enormes dificuldades com que se confrontam os professores que pretendem implementar este tipo de estratégia;
- da baixa frequência de realização de actividades deste tipo, o que se relaciona com a falta de formação dos professores, tanto em relação às técnicas de recolha e análise de dados no campo, como à dificuldade de construção de materiais didácticos de apoio às saídas de campo.

Para atingir os objectivos propostos, tentámos reunir os conhecimentos necessários, que servissem de base à planificação de Actividades Práticas de Campo, dirigidas a alunos do Ensino Secundário e integradas nos conteúdos programáticos de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade, ou seja:

- Conhecer a geologia da região da Serra da Estrela, quer através da pesquisa bibliográfica efectuada, quer através do desenvolvimento trabalho de campo na região;
- Estudar em pormenor a pedreira do Monte das Carrascas, localizada junto a Lageosa do Mondego, cujas características geológicas (zona de mistura de magmas graníticos com magmas básicos) têm um enorme interesse para a compreensão da génese das rochas magmáticas, em particular das rochas granitóides;

- Correlacionar os dados obtidos na pedreira do Monte das Carrascas com os estudos realizados por diversos investigadores em áreas adjacentes, de forma a inferir a evolução magmática, ocorrida neste local;
- Planificar uma unidade de ensino "Magmatismo e Rochas Magmáticas";
- Estruturar as actividades de Saída de Campo, no âmbito da unidade de ensino planificada, nomeadamente, seleccionar locais com interesse didáctico;
- Elaborar materiais de apoio ao desenvolvimento de todas as actividades propostas.

No que se refere às Saídas de Campo, apresentamos aqui duas propostas e os respectivos guias de campo:

- zona da Pedreira do Covão do Curral, próxima da Lagoa Comprida, local este muito semelhante, do ponto de vista geológico, à Pedreira do Monte das Carrascas, mas que por estar inactiva à muito tempo, não apresenta qualquer problema em termos de segurança para os alunos;
- zona entre Mangualde e Penalva do Castelo, onde existem excelentes afloramentos para observação de diferentes tipos de rochas magmáticas.

1.2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para cumprir os objectivos mencionados, desenvolvemos as seguintes tarefas:

- Pesquisa bibliográfica sobre a geologia da Serra da Estrela;
- Pesquisa bibliográfica acerca da formação de magmas e evolução magmática;
- Pesquisa bibliográfica no âmbito da Didáctica das Geociências, com especial atenção na temática de Trabalho de Campo;
- Trabalho de campo com vista à caracterização geológica da Serra da Estrela;
- Trabalho de campo com vista à caracterização da zona da Pedreira do Monte das Carrascas e colheita de amostras;
- Trabalho de laboratório para a identificação e caracterização petrográfica e química de amostras de rochas recolhidas no decurso do trabalho de campo;

- Planificação da unidade “Magmatismo e Rochas Magmáticas” do programa de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade, incluindo actividades de Saída de Campo, e elaboração de documentos didácticos de apoio.
- Elaboração de materiais de apoio ao desenvolvimento de todas as actividades propostas;

1.3. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese encontra-se estruturada em quatro capítulos. O primeiro é este capítulo introdutório, onde se salienta a importância deste trabalho e a fundamentação da escolha do tema, bem como os objectivos gerais e a metodologia utilizada na sua concretização.

No Capítulo 2 (Processos Magmáticos) apresenta-se uma breve caracterização dos mecanismos envolvidos na génese das rochas magmáticas, em particular das rochas granitóides, que são as mais abundantes na crosta terrestre e também no nosso país.

O Capítulo 3 (Caracterização Geológica da Zona Estudada) inicia-se com o enquadramento geológico da Serra da Estrela no contexto mais geral da geologia da Península Ibérica e do Maciço Hespérico, passando-se em seguida à descrição das características geológicas específicas da região.

No Capítulo 4 (Petrografia e Geoquímica) faz-se descrevem-se as características petrográficas e geoquímicas das amostras recolhidas na pedreira do Monte das Carrascas. Para uma melhor compreensão da génese dos granitos que afloram na pedreira do Monte das Carrascas, neste capítulo foram também incluídos dados de amostras estudadas por investigadores da Universidade de Aveiro, no âmbito do Projecto PRAXIS 2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) - "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta". A todos os investigadores que participaram no projecto referido, e que gentilmente cederam os resultados das análises químicas das amostras colhidas na região de Viseu – Mangualde – Fornos de Algodres, deixo aqui os meus agradecimentos.

O Capítulo 5 é dedicado à transposição didáctica dos conhecimentos científicos descritos nos capítulos anteriores, ou seja, à planificação de actividades de TC de acordo com um modelo de orientação construtivista (Orion, 1989, 1993, 1998), relacionadas com

a unidade de ensino “Magmatismo e Rochas Magmáticas” que se integra nos conteúdos programáticos de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade.

Nos Anexos incluem-se os resultados das análises químicas das amostras estudadas (Anexo A) e os documentos de apoio das saídas de campo para o professor e para os alunos (Anexos B a E).

2 – PROCESSOS MAGMÁTICOS

Os processos magmáticos são todos os que se relacionam com a produção, evolução e cristalização de magmas. Neste capítulo faremos uma breve síntese desses processos, dando especial atenção à origem e evolução dos magmas graníticos.

2.1 – MECANISMOS ENVOLVIDOS NA PETROGÊNESE GRANÍTICA

Pode-se considerar que a génese de rochas magmáticas ocorre em três passos sucessivos: os factores que determinam como e quando um magma é gerado, as condições que influenciam a ascensão do mesmo, e por último, toda a variedade de processos que podem ocorrer durante a sua evolução e solidificação (Carmichael *et al*, 1974).

A formação de um magma ocorre quando uma rocha (protólito), ígnea ou metamórfica, é sujeita a fusão parcial. Forma-se assim um magma primário e um resíduo sólido (parte do protólito que não fundiu), também denominado “restito”. A composição química dos magmas primários irá depender de vários factores:

- composição química do protólito;
- parâmetros termodinâmicos do sistema (P, T);
- grau de fusão;
- concentração de voláteis (essencialmente H₂O)

Teoricamente, a fusão parcial de rochas mantélicas e consequente diferenciação dos magmas gerados podem originar magmas graníticos. No entanto, pela sua composição, é na crosta média e inferior que se encontra a principal fonte dos magmas graníticos. Não se pode, contudo, desprezar a participação do manto na génese das rochas granitóides, quer através da mistura de magmas mantélicos com magmas crustais, bem como no fornecimento da energia necessária para a fusão das rochas da crosta (Azevedo, 1996).

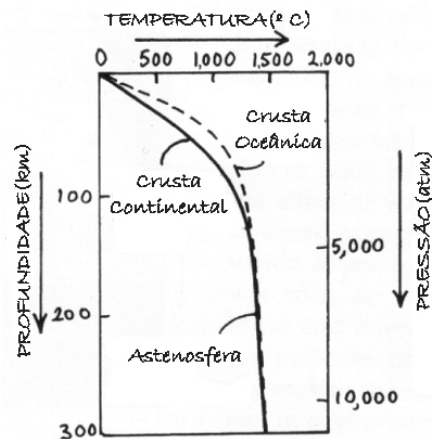
Os factores que influenciam a fusão de rochas da crosta foram já referidos. As variações destes factores influenciam bastante a composição do fundido que se origina. Dadas as diferenças de densidade entre rocha e fundido, este tende a migrar em direcção à

superfície. Durante a ascensão os magmas vão sofrendo transformações (processos de fraccionamento, mistura com outros magmas, assimilação de rochas crustais), que modificam a sua composição original. Deste modo, teremos sempre que ter em consideração a caracterização detalhada da zona de origem do magma, as condições de fusão parcial e a extensão das modificações ocorridas no fundido inicial (Azevedo, 1996).

2.2 – FUSÃO PARCIAL

O interior da Terra é quente. Se entrarmos numa mina e formos medindo a temperatura das rochas, verificamos que ela é tanto maior quanto maior for a profundidade. A relação do aumento da temperatura com o aumento da profundidade designa-se por gradiente geotérmico. Em zonas estáveis o gradiente geotérmico é de 1°C cada 30m (30°C/km). Contudo, o gradiente geotérmico não é o mesmo em todos os locais. Por exemplo, o fluxo térmico é mais elevado nas dorsais, nos pontos quentes (*hot spots*) e em zonas vulcânicas (Plummer, 1999).

Fig. 2.1.- Gradiente Geotérmico.
(Adaptado Murck, 2001)



A temperatura é um dos factores que intervém em todos os processos geológicos, desde o controlo das reacções metamórficas, aos mecanismos de deformação das rochas, passando pela fusão e formação de magmas. Um aumento de temperatura suficiente para fundir uma rocha pode ocorrer de vários modos: (Best & Christiansen, 2001)

- decaimento de isótopos radioactivos;
- movimentos de grandes massas de rocha ou magma, associados a regimes tectónicos, como zonas de subducção ou de expansão;

- espessamento tectónico associado a processos orogénicos;
- processos mecânicos associados a zonas de cisalhamento.

A temperatura de fusão de uma rocha é aquela em que a rocha começa a transformar-se num líquido. No entanto, quando se trata de rochas mantélicas ou da crosta média-inferior as condições termodinâmicas não permitem a fusão total da mesma, ocorrendo apenas um processo de fusão parcial. No início do processo de fusão parcial ocorre a formação de um magma rico nos componentes que constituem as fases menos refractárias do protólito, ou seja, as que fundem em primeiro lugar. À medida que a temperatura aumenta as fases mais refractárias podem também começar a fundir, enriquecendo o magma nos seus componentes.

Em média, as rochas fundem a temperaturas de cerca de 800-900°C, dependendo da composição exacta da rocha. Ora, se o manto se encontra a uma temperatura superior a 1000°C, porque não está totalmente fundido? A resposta é que a pressão – que aumenta com a profundidade – influencia a temperatura de fusão de uma rocha. À medida que aumenta a pressão, a temperatura de fusão também aumenta (Plummer, 1999).

Sendo assim, o manto é maioritariamente sólido porque a pressão é tão grande que a rocha não funde. Do mesmo modo, se por processos tectónicos, uma rocha formada a grandes profundidades ascende na crosta, onde a pressão é menor, poderá fundir mesmo que não ocorra aumento de temperatura (Murck, 2001).

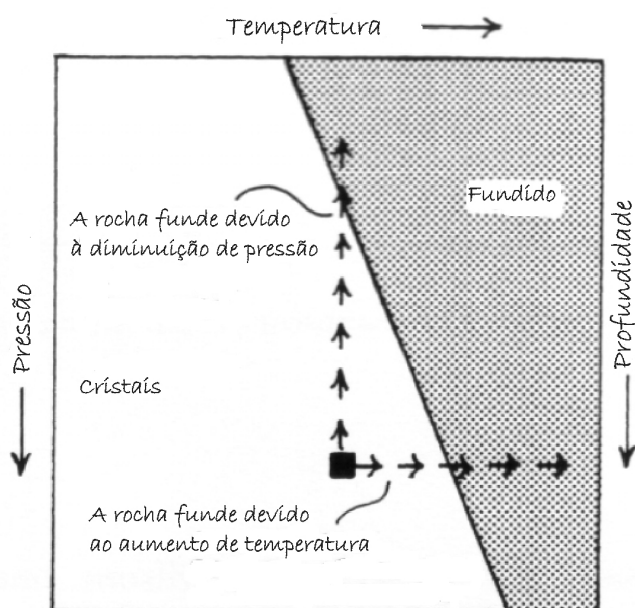


Fig. 2.2. – Efeitos da pressão e da temperatura na fusão da rocha (adaptado de Murck, 2001).

A fusão parcial de rochas do manto, devido a descompressão, é o principal mecanismo através do qual se formam grandes volumes de magmas basálticos nas dorsais (rifts) oceânicas e nos pontos quentes (Best & Christiansen, 2001).

Para além da pressão e temperatura, um outro factor que influencia a fusão é a presença de voláteis (fundamentalmente vapor de água) nas rochas. O efeito dos voláteis na temperatura de fusão é oposto ao efeito da pressão (Plummer, 1999).

Em geral a temperatura de fusão aumenta com o aumento da pressão e diminui com o aumento da concentração de voláteis na rocha. Para além disto, o efeito dos voláteis é mais pronunciado a maiores pressões (Murck, 2001). A modificação da temperatura de fusão causada pelos voláteis é mais significativa nas zonas de subducção, onde a placa oceânica à medida que vai descendendo se vai desidratando, libertando voláteis, o que provoca a fusão da mesma (Best & Christiansen, 2001).

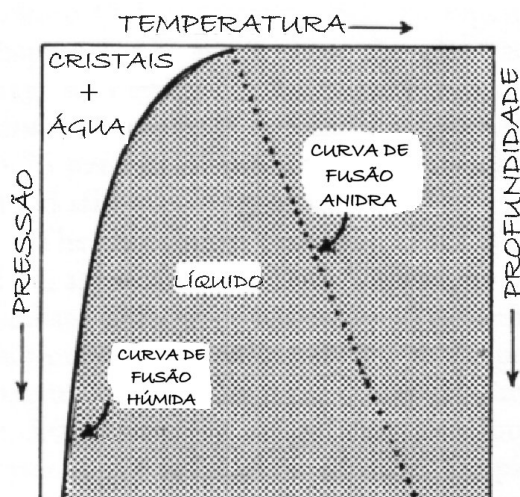


Fig. 2.3. – Efeitos do vapor de água na fusão da rocha (adaptado de Murck, 2001).

A determinação das temperaturas de fusão de rochas silicatadas, na presença de água, mostra que os granitos começam a fundir a temperaturas entre 710 e 600°C, gabros entre 925 e 635°C e os metassedimentos a temperaturas superiores a 600°C (em todos os casos a pressões de 1 a 15Kbars). Deste modo, a T e P a que rochas como os metapelitos e metagrauwaques podem fundir, são geologicamente realistas (Tuttle e Bowen, 1958; Luth *et al*, 1964; Winkler, 1976; Wyllie, 1977, 1983). Contudo, vários cientistas (Miller, 1985; Clemens *et* Vielzeuf, 1987) concordam que não é provável a presença de uma fase rica em água durante o metamorfismo de alto grau. O que parece mais provável é que as reacções

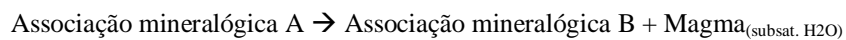
sem a presença de água (como fase externa) predominem durante a anatexia na crosta inferior.

De um modo simplificado podem ser propostas as seguintes reacções de fusão (*adaptado de Azevedo, 1996*):

- Fusão na presença de água (fusão húmida), que quimicamente corresponde à fusão congruente:



- Fusão na ausência de água (fusão anidra), que quimicamente corresponde à fusão incongruente:

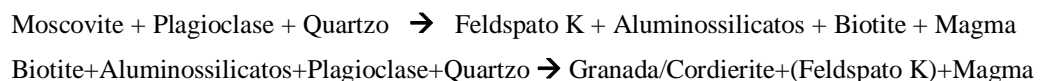


No primeiro caso é necessário a presença de uma fase vapor, formando-se um magma saturado em água e um resíduo sólido, ambos com uma composição semelhante à do protólito.

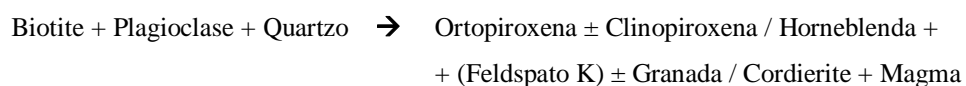
No segundo caso, de fusão anidra, as reacções ocorrem sem a presença de uma fase de vapor externa, sendo que a água presente deriva de reacções de desidratação das fases minerais hidratadas presentes na associação mineral inicial (A). Neste caso, o produto da fusão é constituído por um resíduo sólido anidro (associação mineralógica B), com uma composição diferente do protólito, e um magma sub-saturado em H₂O. A quantidade de magma formado neste caso depende essencialmente da quantidade de água libertada pelas reacções de desidratação e é cada vez menor quanto mais elevada é a pressão, devido ao aumento da solubilidade da água no magma.

Vários autores (Clemens e Vielzeuf, 1987; Leberton e Thompson, 1987; Vielzeuf e Holloway, 1988; Rutter e Wyllie, 1988; Clemens, 1990) têm proposto diferentes reacções de desidratação para explicar o ambiente de fusão dos materiais crustais:

reacções de fusão de metapelitos fortemente peraluminosos e granitos moscovíticos:



- reacções de fusão de metagrauwaques e de rochas metaígneas de composição intermédia:



- reacções de fusão de rochas metaígneas básicas e intermédias:

Anfibola → Plagioclase + Ortopiroxena + Clinopiroxena + Quartzo + Magma

Anfibola + Plagioclase → Granada + Clinopiroxena + Quartzo + Magma

2.2.1 – Processos de Fusão Parcial

Como já se referiu anteriormente, um magma tem origem na fusão parcial de uma rocha. Como é de esperar, a primeira porção da rocha a fundir forma um líquido com a composição química dos minerais menos refractários (quartzo e feldspato-K) (Plummer *et al*, 1999). A separação do magma que se forma da rocha que lhe dá origem (protólito) pode ocorrer de vários modos. Tendo em atenção este aspecto podem vários processos de fusão parcial, dos quais destacamos a:

2.2.1.1 - Fusão parcial fraccionada

A expressão "Fusão parcial fraccionada" indica que o magma é extraído (separado) do resíduo sólido à medida que se vai formando. Assim, formam-se pequenos incrementos infinitesimais de líquido em equilíbrio com os resíduos, líquidos estes que imediatamente são removidos do sistema, não ocorrendo nenhuma reacção com o restito (Shaw, 1970; Best & Christiansen, 2001).

2.2.1.2 - Fusão parcial em equilíbrio ("batch melting")

Neste caso, cada nova porção de magma que se forma permanece em equilíbrio com o material restítico e só posteriormente é extraído, ou seja, o fundido mantém-se em equilíbrio com as fases sólidas residuais até que as condições mecânicas permitam que se separe uma porção de magma, podendo este processo repetir-se ao longo do tempo (Shaw, 1970; Best & Christiansen, 2001).

Contudo, White (1997) considera que na maior parte das circunstâncias, a fusão das rochas ocorre de uma forma intermédia entre o processo de fusão parcial fraccionada e fusão parcial em equilíbrio, processo este que o autor citado denomina **Fusão Continua**.

2.3 – DIFERENCIAÇÃO DE MAGMAS

Quando vamos para o campo, ou abrimos um qualquer livro de classificação de rochas magmáticas, deparamo-nos com uma enorme variedade de tipos de rochas. Devemos, então, assumir que para cada variedade de rocha ígnea existia um magma original diferente? Ou devemos supor que há apenas um tipo de magma original e que a multiplicidade de rochas ígneas resulta de variações na evolução desse magma? Talvez a opção mais correcta seja tomar uma posição intermédia.

Apesar da grande variedade de rochas magmáticas, aceita-se hoje que o número de magmas que lhes dá origem é reduzido (Galopim de Carvalho, 1997). Observações de campo parecem demonstrar claramente que alguns magmas sofrem variações de composição no decorrer da sua evolução, pois é comum encontrar dentro de um único corpo ígneo diferentes tipos de rochas, passando por vezes imperceptivelmente de uma para a outra. Além disso, a composição das lavas, emitidas sucessivamente por um vulcão, frequentemente apresenta uma variação gradual durante o período de erupção. É pois mais razoável pensar que o magma, que se encontra na câmara magmática que “abastece” o vulcão, vai modificando a sua composição, do que supor que o vulcão, durante um período contínuo de actividade, tem vários reservatórios, com tipos diferentes de magma (Krauskopf, 1972).

Diferenciação é a formação de magmas de composição química distinta a partir de um mesmo protólito ou de um mesmo magma original, ou seja, qualquer processo pelo qual um magma evolui e se transforma num magma diferente. A diferenciação resulta das reacções entre as diferentes fases que constituem o magma (fase líquida, restitos, cristais e fase vapor) e desenrola-se quer em sistema aberto quer em sistema fechado.

Em relação ao comportamento dos magmas durante a cristalização podemos dizer o seguinte:

- durante o arrefecimento do magma, a passagem do líquido a sólido ocorre num intervalo de temperatura (e pressão), ou seja, o magma não cristaliza todo ao mesmo tempo a uma temperatura determinada;
- os minerais que cristalizam (tal como a sequência de cristalização dos mesmos) dependem da temperatura e composição do magma;

- a pressão também pode influenciar o tipo de minerais que se formam e a sequência em que se formam;
- os minerais vão cristalizando sequencialmente, começando por formar-se os minerais mais refractários;
- o número de minerais no magma aumenta e o volume de líquido magmático diminui ao mesmo tempo que a temperatura diminui;
- os minerais que envolvem soluções sólidas mudam de composição durante a cristalização (ex: plagioclase, olivina);
- a composição do magma vai variando durante a cristalização;
- a natureza e a pressão de voláteis contidos no magma podem também afectar o tipo de minerais que se formam e a sua sequência de cristalização.

2.3.1 – Processos de Diferenciação

A possibilidade de, a partir de um mesmo magma inicial, surgirem fracções magmáticas diferentes e, portanto, rochas diversas resulta de um conjunto de fenómenos complexos. Passaremos de seguida a descrever sucintamente os processos mais importantes.

2.3.1.1 – Cristalização em Equilíbrio

Na cristalização em equilíbrio, a fase sólida permanece continuamente em equilíbrio com o líquido remanescente, não existindo alterações na composição química, (entre o início e o final da cristalização) como resultado deste processo (Azevedo, 1996).

2.3.1.2 - Cristalização Fraccionada

Na cristalização fraccionada, os cristais são fisicamente separados ou isolados do líquido, ou seja, a reacção dos cristais com o líquido remanescente fica impossibilitada. Deste modo, os magmas residuais enriquecem-se progressivamente nos componentes que não entram na estrutura cristalina do sólido (elementos incompatíveis) e empobrecem-se progressivamente nos componentes que entram preferencialmente no sólido (elementos

compatíveis), adquirindo desta forma uma nova composição. Assim, a cristalização fraccionada é o processo inverso da fusão parcial fraccionada.

Os cristais podem ser segregados (separados) do magma por diversos processos:

- formação de coroas de reacção: formação de uma coroa em volta do mineral, ficando este separado do magma, não podendo ocorrer reacções entre os dois;
- formação de um gradiente químico: a cristalização dos minerais pode criar em volta dos mesmos uma zona empobrecida nos elementos químicos que entram na sua estrutura, o que pode provocar que um mineral fique impedido de crescer e reagir com o magma caso a migração desses elementos no magma seja lenta (a migração é tanto mais lenta quanto mais viscoso, ou seja, mais silicioso for o magma);
- separação mecânica: a separação mecânica de minerais pode ocorrer devido às diferenças de densidade entre os minerais e o magma; nos magmas de composição básica /ultrabásica formam-se cumulos de minerais no fundo da câmara magmática, apresentando frequentemente a rocha resultante um bandado mineralógico, semelhante à estratificação das rochas sedimentares; devido à maior viscosidade dos magmas intermédios, e sobretudo dos magmas ácidos, este tipo de bandado é mais raro nas rochas intermédias/ácidas; no caso de o magma circular em condutas relativamente estreitas, os cristais são arrastados para o centro da conduta, ficando, de certo modo, isolados; nas fases finais de diferenciação, quando a proporção de líquido é pequena, se a câmara magmática estiver sujeita a forças compressivas, o líquido será "espremido" e separar-se-á do sólido (Murck, 2001).

2.3.1.3 - Mistura de Magmas

Embora a cristalização fraccionada seja um dos mecanismos mais importantes na formação das rochas magmáticas, não permite explicar completamente a diversidade e características de muitas rochas, nomeadamente dos granitos. Por exemplo, é comum encontrar em muitos granitos e granodioritos encraves de rochas magmáticas, com formas mais ou menos arredondadas, dimensões variadas (centimétricas a métricas), de cor mais escura e grão mais fino que a rocha hospedeira. Estes encraves podem apresentar contactos

bruscos (frequentemente marcados por uma orla biotítica) ou contactos graduais com a rocha hospedeira. A estes encraves dá-se o nome de Encraves Máficos Microgranulares (EMM), por serem de grão mais fino e terem uma composição mais básica do que a rocha hospedeira.

Para explicar a presença destes encraves surgiram várias teorias, considerando no entanto a maioria dos investigadores que eles resultam da mistura entre magmas de composição distinta, um magma básico e um magma ácido (Azevedo, 1996; Castro *et al*, 1994; Eichelberg, 1980; Frost & Mahood, 1987; Huppert *et al*, 1982; Sparks & Marshall, 1986; Vernon, 1983; etc). As características destes encraves são então facilmente compreendidas: são mais escuros do que a rocha hospedeira, devido ao seu carácter mais básico, e de grão mais fino devido ao seu arrefecimento relativamente rápido quando são incorporados nos magmas ácidos mais frios.

A mistura de magmas, que podem ou não ser derivados da mesma região de origem, é um mecanismo variável de produção de rochas híbridas, que podem apresentar diferentes graus de homogeneidade (Azevedo, 1996), dependendo de uma série de factores que limitam e influenciam o processo de mistura (Sparks e Marshall, 1986; Frost e Mahood, 1987; Castro *et al*, 1994): o regime térmico a que a mistura ocorre, as diferenças de temperatura, viscosidade, densidade, teor em água e conteúdo em cristais, a composição química dos magmas que entram no processo de mistura. Como tal, uma grande quantidade de fenómenos pode ocorrer, que vão desde a mistura química (*mixing*) à mistura física (*mingling*). Quando a mistura dos dois magmas é total, forma-se um novo magma híbrido homogéneo, com composição intermédia e sem EMM. Quando os magmas se comportam como dois líquidos imiscíveis, ocorrendo apenas uma mistura mecânica, a rocha resultante apresentará numerosos EMM, com contactos bruscos com a rocha hospedeira. Entre estes dois extremos, podem ocorrer misturas incompletas (*mixing* e *mingling*), produzindo-se uma rocha híbrida com EMM variados (com contactos bruscos e contactos graduais).

Nos modelos experimentais de mistura de magmas, o ponto de partida é uma câmara magmática composta, na qual existe um magma ácido, que tem uma “lâmina” de magma basáltico subjacente.

Eichelberg (1980) e Huppert *et al* (1982) indicam que o processo de vesiculação no magma máfico (fig. 2.4 A) é um processo violento devido ao seu arrefecimento brusco,

quando entra em contacto com magma félsico. Este processo permite a formação de um fluxo energético dentro da câmara, originando mistura de magmas e um vulcanismo explosivo. Contudo, este modelo não pode ser aplicado à maior parte dos casos estudados, pois implica grandes concentrações de fluidos e baixa pressão (Castro *et al*, 1994).

Vernon (1983) propôs um outro modelo, baseado em câmaras magmáticas estratificadas (fig. 2.4. B). De acordo com este modelo, os encraves representam glóbulos do magma máfico, incorporados no magma félsico pelo fluxo convectivo que se gera na câmara magmática. Se o processo ocorrer numa fase em que os dois magmas contêm poucos sólidos, e se houver tempo suficiente, poderá gerar-se-á um magma híbrido homogéneo, caso contrário obter-se-á uma magma com EMM.

Outros autores, como Koyaguchi (1985, 1987) e Blake & Campbell (1986) apresentam um modelo em que, quando a situação estática dentro de uma câmara magmática estratificada é perturbada pela abertura de uma conduta, o magma básico (menos viscoso) tem tendência a ascender mais rapidamente, podendo a mistura ocorrer na conduta. Kouchi & Sunagawa (1985) concluíram que a homogeneização total pode ser alcançada com o decorrer do tempo, sendo a mistura favorecida quando existem fenocristais em ambos os magmas (fig. 2.4 D).

Castro (1990) e Castro *et al* (1990a) apresentaram um modelo que se diferencia dos anteriores (fig. 2.4 E), pois refere que a interacção ocorre a partir do momento em que o magma máfico intrui o magma félsico. Segundo estes autores, inicialmente formam-se diques na parte inferior da câmara magmática, havendo uma tendência para que a temperatura se equilibre em torno deles. Se os diques não tiverem atingido o estado sólido, poderão ser fragmentados e desagregados dentro da câmara magmática, contribuindo para a hibridização do magma félsico. O resultado final é um granitóide híbrido, que contém EMM (Castro *et al*, 1994).

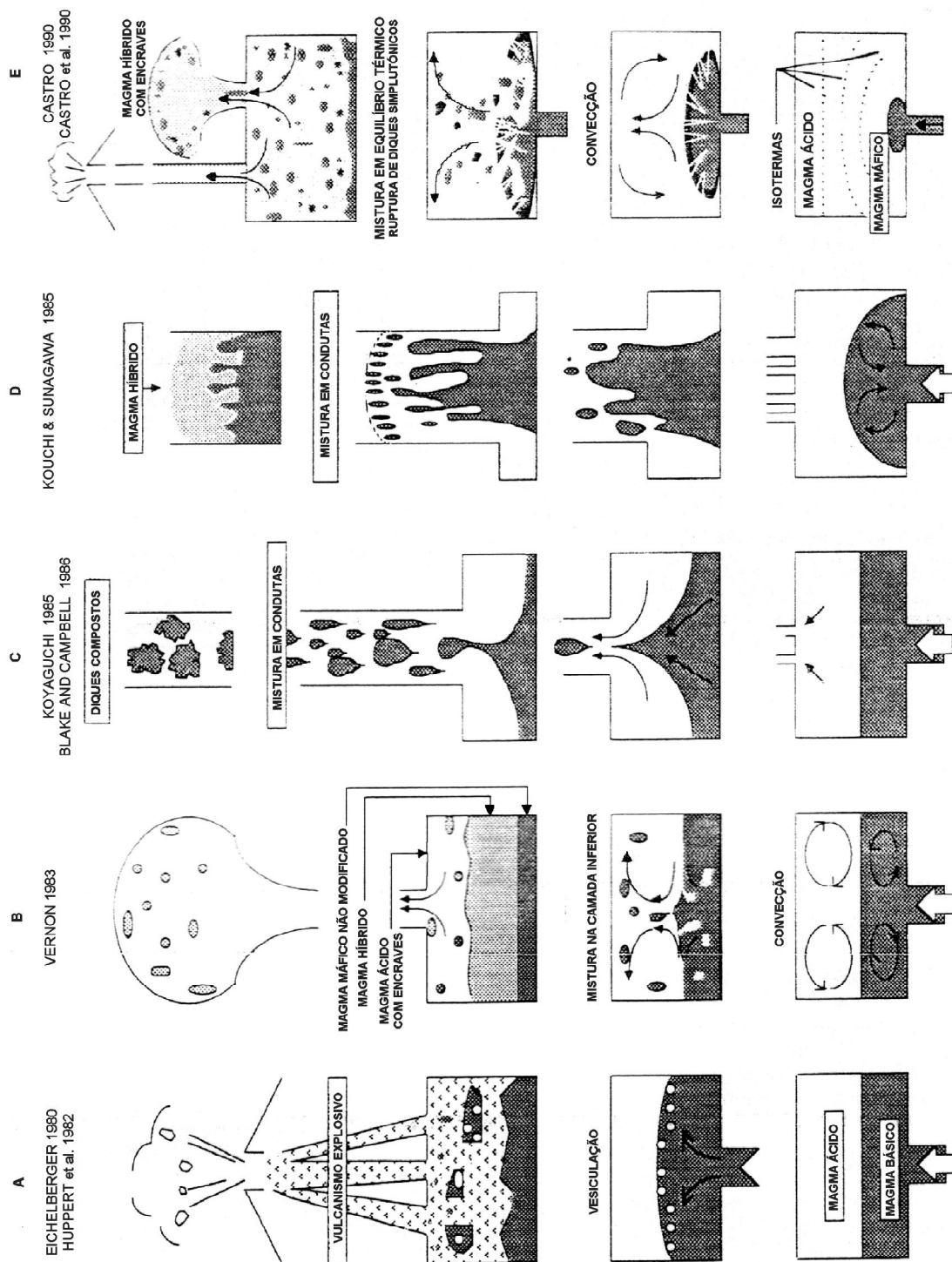


Fig.2.4. – Esquema mostrando diferentes modelos de mistura de magmas (Castro *et al*, 1994).

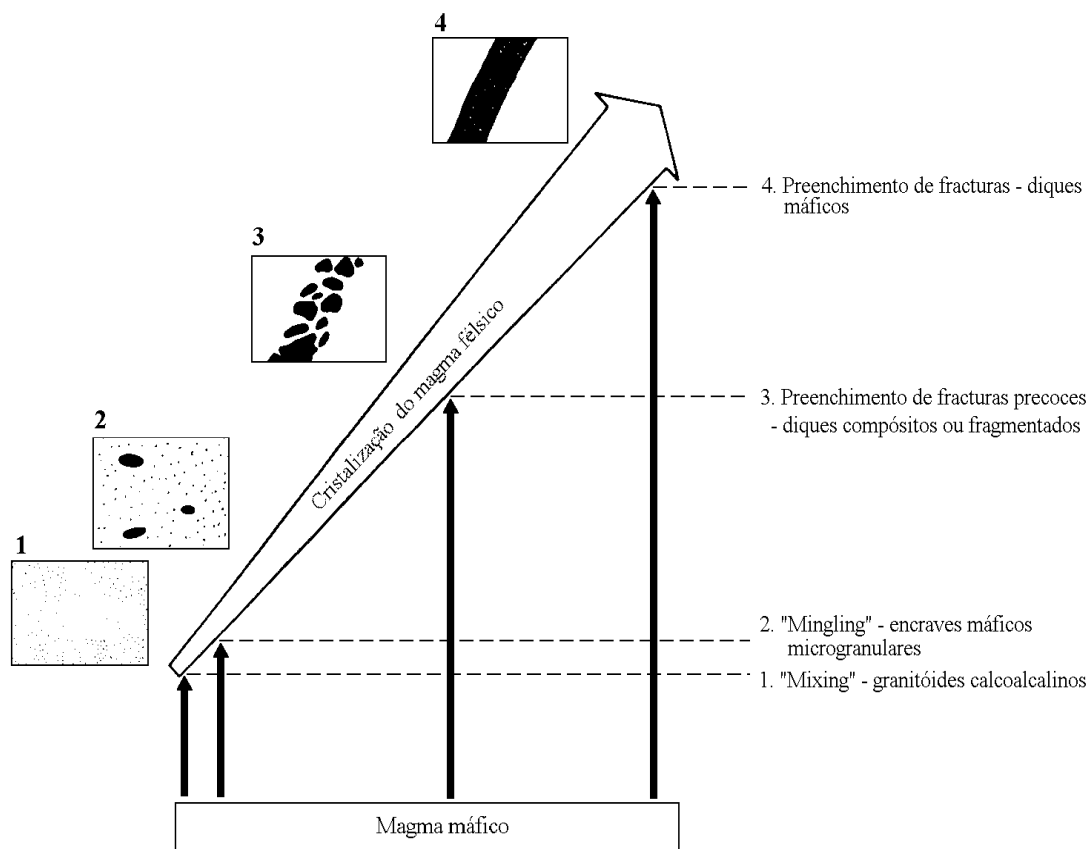


Fig. 2.5. – Gráfico esquemático representativo do resultado previsto devido à interação entre a proporção de magma félsico cristalizado e o momento de injeção de magma máfico (Fernandez e Barbarin, 1991).

De tudo o que foi dito, pode-se então concluir que, um dos factores essenciais para o resultado final da mistura é o momento em que esta ocorre (fig. 2.5.). Se a mistura ocorre quando os dois magmas estão ainda fundamentalmente no estado líquido, a homogeneização poderá ser completa ou quase completa. Caso a mistura ocorra quando um dos magmas (geralmente o magma mais ácido) já contem uma grande proporção de cristais, a mistura nunca será total, e o resultado final dependerá da proporção entre cristais e líquido.

2.3.1.4 - Assimilação (Contaminação)

A assimilação ocorre quando um magma incorpora material de uma origem e composição diferente. Neste sentido o processo de mistura, descrito anteriormente pode ser considerado como um processo de assimilação. No entanto, o termo "assimilação" é mais usado nos casos em que os magmas, durante a sua ascensão, incorporam material crustal.

Existem vários tipos de assimilação: a) assimilação de magmas crustais; b) assimilação de voláteis; c) assimilação de materiais sólidos (cristais e fragmentos de rochas). No primeiro caso trata-se de um processo de mistura, e a composição do magma resultante dependerá do grau de assimilação e do tipo de magmas envolvidos. O segundo caso implica pequenas modificações na composição global do magma. No último caso, tal como no processo de mistura, a assimilação pode ser completa ou parcial, dependendo do tipo de rochas incorporadas no magma, regime térmico, profundidade. Normalmente este processo é tanto mais efectivo (completo) quanto mais elevada for a profundidade e a temperatura. Quando o grau de assimilação é elevado, a composição química do magma modifica-se (por exemplo tornando-se mais aluminoso). Quando a proporção de material cristalizado no magma é já elevada, ou seja, quando o magma praticamente atingiu o seu nível de instalação, a assimilação é menos efectiva, ou seja, é apenas parcial, podendo ou não haver alterações na composição química do magma. A presença de encraves (xenólitos) de rochas crustais, geralmente de forma angulosa, em muitos granitos são o exemplo de processos de assimilação parcial.

2.3.1.5 - Imiscibilidade de Líquidos

O último processo de diferenciação magmática é o da imiscibilidade de líquidos. É um processo pouco comum, que ocorre em situações muito específicas, mas que tem uma grande importância na formação de certos tipos de jazigos minerais (p. ex. depósitos de sulfuretos de Cu-Ni em rochas básicas/ultrabásicas).

Neste processo ocorre a separação do magma inicial em dois líquidos (magmas) imiscíveis. Este processo pode ocorrer em alguns tipos de magmas, como por exemplo:

- Magmas básicos/ultrabásicos ricos em S e metais \Rightarrow Magma silicatado de composição básica, empobrecido em S, Fe, Cu e Ni + Líquido de composição sulfuro-metálica (constituído por enxofre e metais, em particular Cu, Fe e Ni).
- Magmas altamente alcalinos ricos em CO₂, a pressão baixa \Rightarrow Magma alcalino extremamente sub-saturado em sílica + Magma carbonatado que por cristalização dá origem aos carbonatitos.
- Magmas básicos muito ricos em Fe \Rightarrow Magma básico, rico em Fe e P + Magma ácido.

Podemos, então concluir que a diversidade química/mineralógica das rochas granitóides pode ser produzida por um grande número de processos petrogenéticos, que não são mutuamente exclusivos. A composição inicial dos magmas parentais é amplamente determinada pela natureza do protólito e pelas reacções de fusão parcial. A diversificação destes magmas primários irá depender de uma variedade de processos, que podem ocorrer desde os níveis inferiores da crosta até ao nível de instalação.

3 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ZONA ESTUDADA

A área sobre a qual incide este estudo situa-se no interior centro de Portugal, na região do Parque Natural da Serra da Estrela.

A teoria da tectónica de placas implica que a evolução da Península Ibérica seja integrada num modelo dinâmico, através do qual se tentam explicar as suas características geológicas e morfológicas. Para tal, tem de se ter em consideração as várias orogenias que a afectaram, destacando-se pela sua importância a Orogenia Hercínica.

Uma importante consequência da teoria da tectónica de placas foi o reconhecimento de que a geologia de uma região não pode ser vista de forma independente mas deve, pelo contrário, ser integrada num gigantesco puzzle global (Gonçalves, 2001). Assim, antes de se abordar o tema em estudo, tentar-se-á enquadrar a região do Parque Natural da Serra da Estrela num esquema geológico mais abrangente.

3.1. - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os terrenos que compõem a Europa actual resultaram da acção sucessiva de várias orogenias que se fizeram sentir desde os tempos Precâmbrios até ao Fanerozóico, inserindo-se neste último as Orogenias Caledónica, Hercínica e Alpina. As marcas das orogenias mais antigas foram apagadas ou camufladas pelas orogenias mais recentes tornando-se, por isso, difícil reconhecer os efeitos separados de cada uma delas (Patrício, 2001).

De acordo com Stille (1924) a maior parte da Península Ibérica insere-se no domínio da Meso-Europa (Europa hercínica) (fig. 3.1), ou seja, no domínio cuja estabilização (cratonização) ocorreu no final do Paleozóico Superior. A influência da orogenia Alpina neste domínio deu origem apenas a uma tectónica de blocos, dominada pelo rejogo de antigas falhas hercínicas, não sendo afectado por deformação dúctil e metamorfismo. À luz da nova teoria da tectónica de placas, os domínios definidos por Stille mantêm-se, havendo apenas variação em relação aos seus limites.



Fig. 3.1.- Unidades tectónicas da Europa, segundo Stille, 1924.
(Adaptado de Ribeiro *et al*, 1979)

3.1.1. - O Maciço Hespérico

O Maciço Hespérico corresponde ao troço Ibérico da grande Cadeia Hercínica da Europa média e ocidental que se estende desde a região moldanubiana, pelo maciço central francês, Bretanha e sul das ilhas Britânicas, inflectindo depois, em arco pronunciado, para a Península Ibérica, e para a região marroquina, no noroeste africano. O troço Ibérico da Cadeia Hercínica foi quase arrasado na totalidade, tendo-se formado uma superfície de aplanamento a que se chama Meseta Ibérica (fig. 3.2) (Galopim de Carvalho, 1979).



Fig. 3.2.- Meseta Ibérica (Fotografia cedida por Estela Martins).

Este maciço constitui assim a ossatura central da Península Ibérica, sendo constituído por terrenos metamorfizados, deformados e intruídos por numerosos batólitos de rochas granitóides durante o Precâmbrico e Paleozóico. Parte do maciço está parcialmente recoberta por formações mais modernas. No seu interior aflora a maior extensão de rochas pré-hercínicas da Península Ibérica (Dallmeyer & Martinez Garcia, 1990).

É atribuída a Lotze (1945) a primeira subdivisão da cadeia Hercínica da Península Ibérica em várias zonas. Estas zonas correspondem a grandes unidades paleogeográficas e tectónicas, alongadas e paralelas à estrutura da cadeia. Em cada uma delas existe certa uniformidade no que respeita à fácies e espessura das séries sedimentares, à tectónica, ao metamorfismo, ao magmatismo e à génese dos depósitos minerais (Galopim, 1979). Lotze considerou, de nordeste para sudoeste, as seguintes seis zonas: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrico-Leonesa (ZAL), Zona Galaico-Castelhana (ZGC), Zona Luso-Alcúdice (ZLA), Zona Ossa-Morena (ZOM), Zona Sul Portuguesa (ZSP). Posteriormente vários geólogos (Julivert *et al*, 1974; Farias *et al*, 1987; Díez Balda *et al*, 1990) propuseram algumas alterações às zonas definidas por Lotze (1945), do que resultou um novo zonamento do Maciço Hespérico (fig. 3.3).

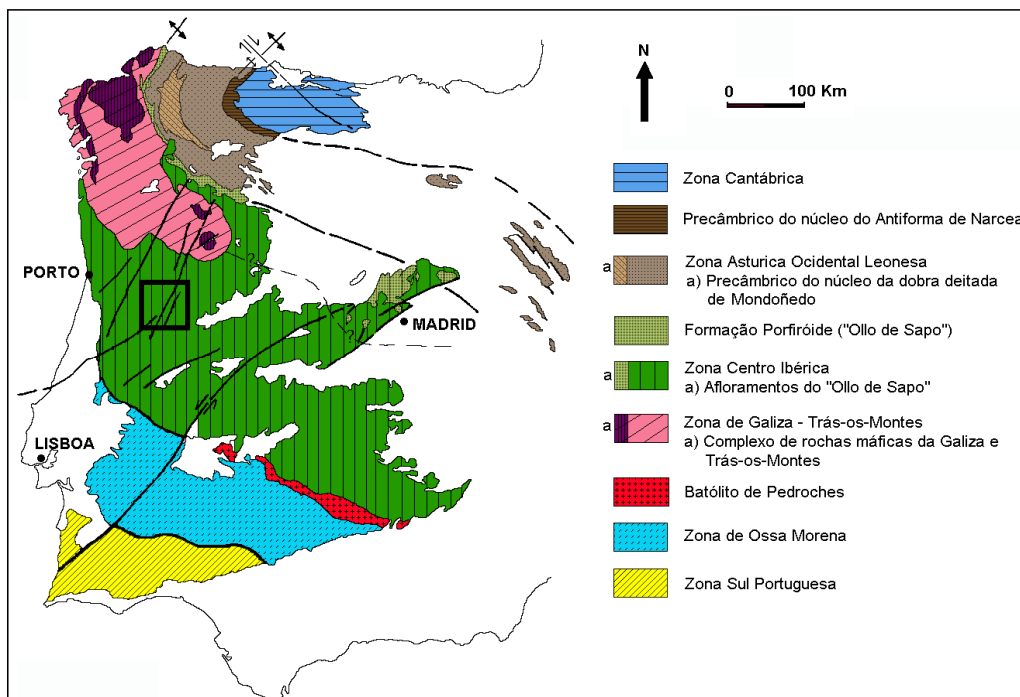


Fig. 3.3 – Zonas Paleogeográficas e tectónicas do Maciço Hespérico, segundo a carta tectónica da Península Ibérica, onde se assinala o sector estudado. Adaptado de Julivert *et al*, 1980 e Farias *et al*, 1987.

No quadro das unidades geotectónicas da cadeia hercínica do Maciço Hespérico, referidas em cima, o sector estudado (fig. 3.3) insere-se nos terrenos autóctones da Zona Centro-Ibérica, pelo que passaremos a descrever com mais pormenor as características principais desta zona.

3.1.2. - A Zona Centro-Ibérica

A localização precisa da ZCI varia de acordo com vários autores (ex. Julivert *et al.*, 1974; Díez Balda *et al.*, 1990). Segundo Díez Balda *et al.*, (1990) os limites da ZCI são os seguintes: a) Nordeste – a falha de Vivero e Sinclinal Sil-Truchas (a Norte de Olho de Sapo); b) Sudeste – a falha Guadalquivir; c) Sul – Zona de cisalhamento Badajoz-Córdoba; d) Oeste – a zona de cisalhamento Porto-Tomar.

De acordo com vários autores (Ribeiro *et al.*, 1979; Ferreira *et al.*, 1987; Díez Balda, 1990; Valle Aguado, 1992), os terrenos autóctones da Zona Centro-Ibérica apresentam as seguintes características:

- predominância, do ponto de vista estratigráfico, das formações metassedimentares ante-ordovícicas do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) sobre as restantes formações paleozóicas;
- carácter transgressivo e discordante do Ordovícico Inferior sobre formações ante-ordovícicas, testemunhando a presença de uma fase de deformação pré-hercínica, que teria dado origem a dobramento, sem xistosidade associada e não teria gerado qualquer tipo de metamorfismo;
- deformação hercínica polifásica, sendo reconhecíveis em alguns locais quatro fases distintas (D1, D2, D3 e D4), as três primeiras anteriores ao Estefaniano e a última posterior a este;
- dois domínios tectónicos distintos: Domínio das Dobras Verticais a SE e o Domínio das Dobras Deitadas a NE (fig. 3.4);
- carácter regional da primeira fase de deformação, a única que afecta todas as formações ante-carboníferas; carácter local da segunda e terceira fases de deformação hercínica, relacionadas com zonas de cisalhamento dúctil;

- metamorfismo regional relacionado temporalmente com a deformação polifásica hercínica, podendo atingir nos níveis mais profundos um grau elevado, com geração de migmatitos;
- magmatismo sin-orogénico abundante, representado essencialmente por rochas granitóides, que se podem dividir em vários grupos no que respeita à sua idade de implantação (ante-, sin-, tardi- e pós-D3);

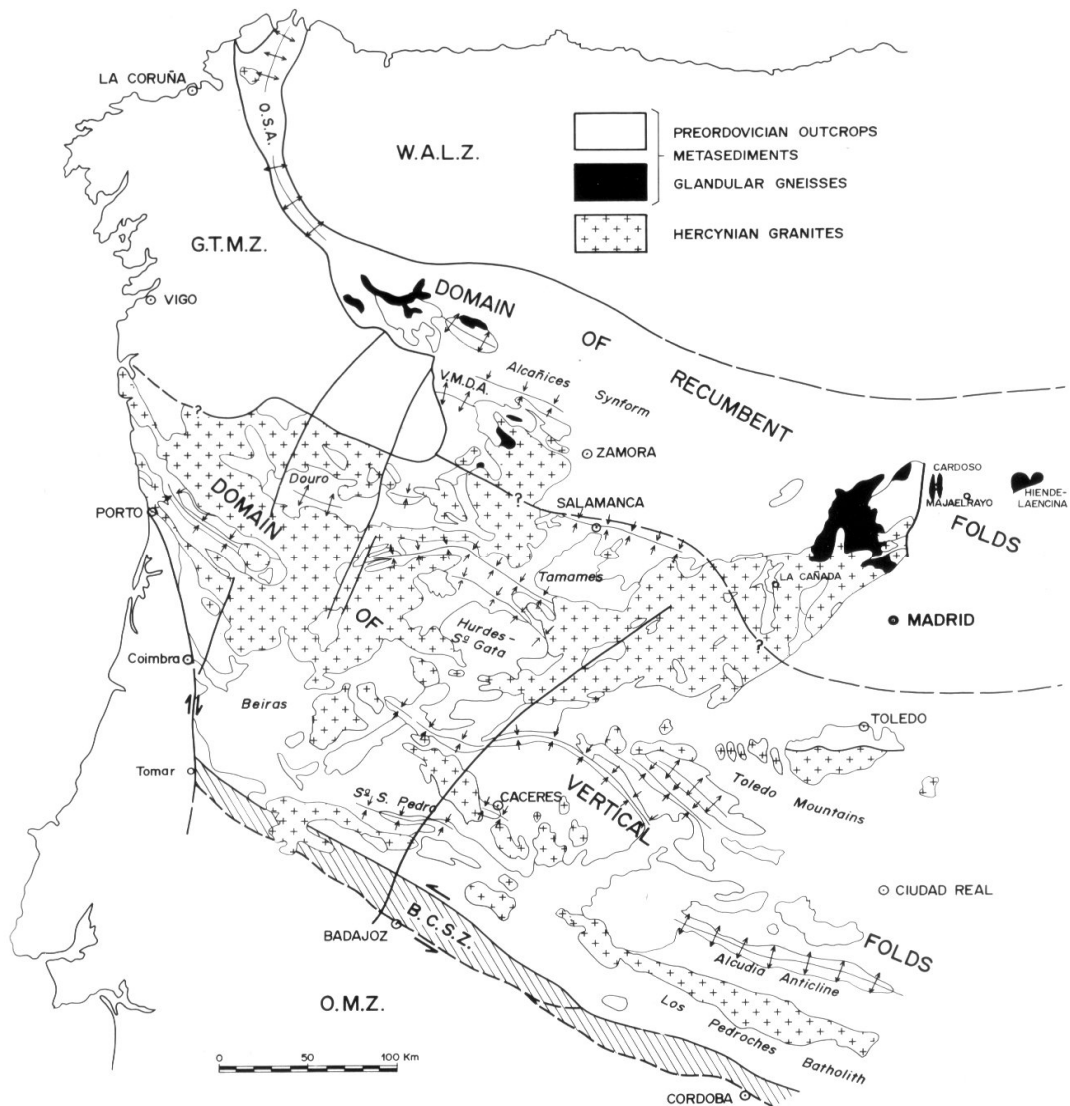


Fig. 3.4. – Domínios estruturais da Zona Centro Ibérica (*in* Díez Balda *et al.*, 1990): GTMZ – Zona Galaico Transmontana; WALZ – Zona Astúrico-Leonesa Oeste; OMZ – Zona da Ossa Morena; OSA – Anticlinal Olho de Sapo; VMDA – Anticlinal Villadepera-Miranda do Douro; BCSZ – Zona de cisalhamento Badajoz-Córdoba.

A área do Parque Natural da Serra da Estrela situa-se no Domínio de Dobras verticais, que apresenta as seguintes características (Diez Balda *et al.*, 1990):

- predominância, em termos estratigráficos, de rochas Precâmbricas a Câmbrias (CXG), e ausência de sequências do Câmbrio Médio e Superior;
- presença de uma discordância nas rochas Precâmbricas;
- natureza transgressiva dos quartzitos do Ordovícico Inferior sobre o CXG;
- existência de sinclinais longos e estreitos, onde aflora o quartzito Armoricano e antiformas largas, ocupadas pelas rochas pré-Ordovícicas;
- os movimentos pré-hercínicos não produziram deformação interna apreciável ou metamorfismo, e foi a deformação hercínica a responsável pela deformação e metamorfismo observado;
- metamorfismo regional de grau baixo ou muito baixo na maior parte do domínio; apenas no núcleo de algumas antiformas da 3ª fase encontramos rochas metamórficas de grau intermédio a alto (ortogneisses, rochas graníticas deformadas);
- dois gradientes metamórficos: o primeiro de pressão intermédia e o segundo de baixa pressão e alta temperatura.

3.1.2.1. – Deformação

As estruturas associadas a episódios de deformação pré-hercínicos estão fracamente representadas na ZCI (Diez Balda *et al.*, 1990). Esta deformação é apenas deduzida pela existência de duas discordâncias, uma mais antiga que separa duas unidades estratigráficas do Proterozóico Superior e a mais recente que se traduz pela descontinuidade entre o CXG e o Ordovícico Inferior (basal *red beds*), e que é atribuída geralmente à deformação Sarda. Os movimentos produzidos pela deformação sarda originaram dobras verticais, mas sem xistosidade, nem metamorfismo associados.

O essencial da estrutura desta zona parece pois ter resultado da deformação hercínica, em particular da actuação da 1ª fase (D1), a única que teve carácter regional (Ribeiro *et al.*, 1979; Diez Balda *et al.*, 1990).

A D1 produziu dobras sub-verticais de grande comprimento de onda, com xistosidade de plano axial associada (S1). A direcção das dobras é variável, com

predomínio das direcções NW-SE, podendo, no entanto, em alguns sectores adoptar direcções anómalas (N-S a NE-SW). A S1 é a estrutura planar mais evidente na maior parte dos afloramentos do domínio.

A 2ª fase de deformação hercínica (D2) terá tido na ZCI um carácter muito localizado e uma influência muito menor do que a D1. Segundo, Diez Balda *et al.*, (1990) e Valle Aguado (1992), a D2 está associada a zonas de cisalhamento sub-horizontais, que se desenvolvem apenas na parte N do domínio, nos núcleos de antiformas da 3ª fase. Nestas áreas, com médio a alto grau metamórfico, a D2 originou dobras menores fortemente assimétricas, que afectam a S1, desenvolvendo-se uma nova foliação sub-horizontal (S2). Nas zonas epizonais a D2 pode dar origem a dobras angulares de charneira rectilínea e plano axial sub-horizontal, e a uma clivagem de crenulação (S2), que afectam a S1.

A 3ª fase de deformação Hercínica (D3) tem também um carácter local, embora esteja bastante mais desenvolvida do que a D2, e as estruturas por si geradas sejam as únicas visíveis em afloramento nas áreas onde a sua intensidade foi maior. As estruturas desenvolvidas durante a D3 estão intimamente relacionadas com zonas de cisalhamento dúcteis sub-verticais. Estas zonas de cisalhamento parecem ter-se desenvolvido como forma de acomodar o encurtamento NNE – SSW, sofrido pela ZCI. A D3 é homoaxial com a D1 em extensos sectores da ZCI, produzindo dobras de plano axial sub-vertical, que redobram as estruturas anteriores (S1 e/ou S2). As dobras D3 têm geralmente uma direcção N100°E a N120°E e plano axial sub-vertical, e são acompanhadas por dobras menores e uma clivagem de crenulação. Estas dobras afectam as isógradas de metamorfismo regional. No centro dos antiformas D3 afloram rochas metamórficas de médio a alto grau (migmatitos, ortognaisses) e rochas graníticas (maioritariamente granitos de 2 micas, aplitos e pegmatitos) mais ou menos deformados pela D2. A S3 pode ser facilmente observada em áreas onde a S2 está bem desenvolvida, isto é, nos micaxistos de grau intermédio a alto e granitos deformados pela D2 (Burg *et al.*, 1981; Reavy, 1989; Diez Balda *et al.*, 1990; Valle Aguado, 1992).

Por último, um sistema de fracturação tardia (D4) caracteriza os últimos estádios da Orogenia Hercínica na ZCI. A interpretação das movimentações da rede de falhas que recobre todo o Maciço Hespérico permitiu distinguir dois episódios de fracturação. O primeiro episódio, que corresponde a uma direcção de compressão máxima N-S, está representado por dois sistemas conjugados de falhas: um sistema esquerdo de direcção

NNE-SSE a ENE-WSW e um sistema direito de direcção NNW-SSE a NW-SE, estando o esquerdo mais desenvolvido que o direito. O segundo episódio de fracturação, com direcção de compressão máxima E-W, afecta principalmente o bordo W do maciço (Ribeiro, *et al.*, 1979).

Na figura 3.5 representa-se esquematicamente a evolução estrutural da ZCI durante a orogenia Hercínica.

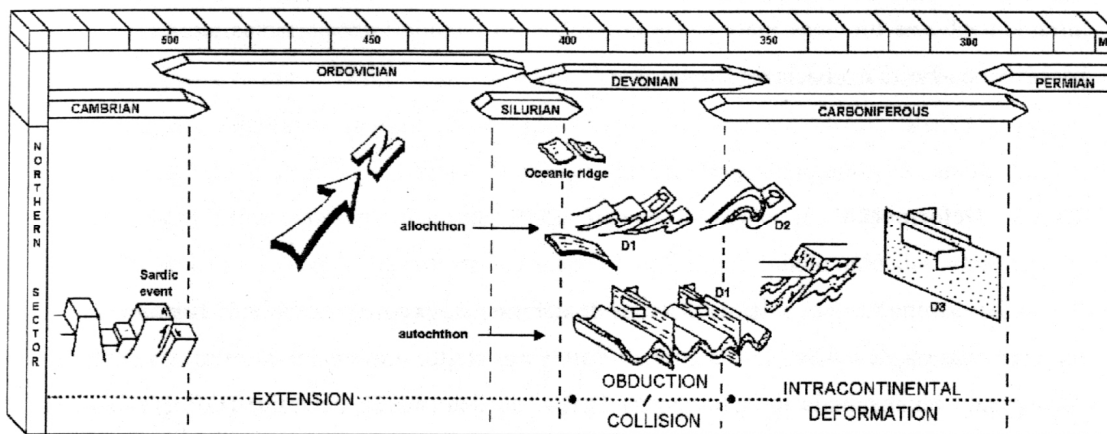


Fig. 3.5 - Evolução estrutural da Zona Centro Ibérica durante o ciclo Varisco (Extraído de Dias & Ribeiro, 1994).

3.1.2.2. – Metamorfismo

Do ponto de vista metamórfico, na Zona Centro-Ibérica, e em particular no Domínio das Dobras Verticais, as rochas estão afectadas por metamorfismo regional relacionado com as três fases de deformação dúctil (D1, D2, D3), ao qual se sobrepõe o metamorfismo de contacto provocado pela intrusão dos granitóides hercínicos. A partir de vários estudos reconhecem-se dois regimes metamórficos principais: um episódio inicial de tipo Barroviano (pressão intermédia), relacionado com as fases de deformação D1 e D2, seguido de um outro episódio de pressão baixa a intermédia e alta temperatura durante a D3.

As paragénese minerais correspondentes ao metamorfismo barroviano, bem como a distribuição das isógrads, são apenas visíveis nos sectores onde estão ausentes importantes intrusões de massas graníticas tardias, aparecendo as rochas de mais alto grau (rochas com granada e estauroilite ou andaluzite e cordierite) nos núcleos dos antiformas da

terceira fase (Díez Balda et al., 1990; Díez Balda e Vegas, 1992). Nas restantes áreas este episódio metamórfico pode apenas ser detectado pela presença de relíquias de minerais indicadores de condições de pressão intermédia (estaurolite, granada e distena), encontrados no seio de paragénese de mais baixa pressão. No final da D2, início da D3, o metamorfismo evoluiu para condições de menor pressão, marcadas nas zonas de mais alto grau pelo aparecimento de silimanite e andaluzite (Martínez & Gil Ibarguchi, 1983; Díez Balda et al., 1990; Martínez et al., 1990; Ugidos, 1990; Díez Balda e Vegas, 1992; Valle Aguado, 1992; Azevedo, 1996)

Durante o clímax metamórfico ter-se-ão gerado, nos níveis profundos da crosta, grandes quantidades de fundidos graníticos, em consequência da fusão parcial de metassedimentos e/ou gnaisses. Os granitóides de anatexia crustal, essencialmente sintectónicos, tendem a ocupar núcleos de antiformas da terceira fase e cortam, em muitos casos, as isógradas do metamorfismo regional (Oen, 1970; Martínez *et al*, 1990; Valle Aguado, 1992).

Por último, e sobrepondo-se ao metamorfismo regional, a intrusão dos granitóides hercínicos tardi-pós-tectónicos deu origem a extensas orlas de metamorfismo de contacto, com produção de xistos mosqueados e corneanas.

3.1.2.3. – Magmatismo

Existe uma grande diversidade de granitóides que se instalaram na ZCI durante a Orogenia Hercínica, os quais apresentam relações espaciais e temporais bastante variáveis e complexas. (Ugidos, 1990). Ao longo dos tempos têm sido propostos muitos esquemas de classificação dos Granitóides Hercínicos, de onde se destaca os que se baseiam em critérios petrográficos e geoquímicos, estruturais e geocronológicos (Ferreira *et al*, 1987; Azevedo, 1996; Neiva & Gomes, 2001).

i. Classificação petrográfica e geoquímica

Do ponto de vista petrogénico, o modelo de classificação de Chappell & White (1974) é um dos mais conhecidos. Segundo estes autores os granitos dividem-se em (tabela 3.1): a) Tipo I, resultantes da fusão parcial em níveis infracrustais, de rochas ígneas que

não passaram pelo ciclo sedimentar; b) Tipo S, derivados de fusão parcial de rochas metassedimentares crustais. A distinção entre estes tipos de granitos baseia-se maioritariamente nas diferenças do protólito, mas não reflecte diferenças no mecanismo de formação e evolução do magma (Hine *et al*, 1978, citado por, Neiva & Gomes, 2001), contudo, há cerca de 30 anos, foi um grande avanço para a classificação de rochas granitóides.

Tabela 3.1. – Características dos granitos tipo I e tipo S (adaptado de Chappell & White, 1974)

Granitos tipo I	Granitos tipo S
Na ₂ O relativamente elevado, geralmente > 3.2%, nas fácies félsicas, decrescendo para valores > 2.2% nas fácies máficas	Na ₂ O relativamente baixo, geralmente < 3.2%, nas fácies com K ₂ O ≈ 5%, decrescendo para valores < 2.2% nas fácies com K ₂ O ≈ 2%
Proporções moleculares Al ₂ O ₃ < (CaO + Na ₂ O + K ₂ O) < 1.1, ou seja, metaluminosos a fracamente peraluminosos	Proporções moleculares Al ₂ O ₃ > (CaO + Na ₂ O + K ₂ O) < 1.1, ou seja, peraluminosos
Presença de diópsido normativo ou corindo normativo < 1%	Corindo normativo > 1%
Intervalo de variação da sílica elevado (de fácies máficas a ácidas)	Intervalo de variação da sílica restrito, com predominância de fácies ácidas
Trends regulares de variação dos elementos nos diagramas de Harker	Trends menos regulares de variação dos elementos nos diagramas de Harker
Razões iniciais ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr baixas	Razões iniciais ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr elevadas
Presença de encraves máficos	Presença de encraves metassedimentares (restíticos)

Esta classificação foi criticada por ser muito simplista, pois não incluía muitos granitóides que apresentam características intermédias entre os I e os S. Assim, surgiu um novo tipo, denominado Tipo H, que inclui os granitos híbridos, ou seja, aqueles que resultam da mistura de dois magmas de origem diversa (magmas tipo I e magmas tipo S) (Castro *et al*, 1991, citado por Neiva & Gomes, 2001).

Os granitos híbridos apresentam frequentemente encraves microgranulares, podem possuir xenocristais de plagioclase, os diagramas de Harker mostram linearidade para a maioria dos elementos e a composição é intermédia entre as composições dos dois termos básico e félsico originais (Barbarin & Didier, 1992; Silva & Neiva, 2000; Campos *et al*, 2000; Neiva & Gomes, 2001).

Relativamente aos granitóides da ZCI, Capdevila & Floor (1970) e Capdevila *et al* (1973) distinguiram dois grandes grupos (tabela 3.2): a) granitóides alcalinos de duas micas e leucogranitos fortemente peraluminosos, intimamente relacionados com

migmatitos e áreas metamórficas de alto grau; b) granodioritos calco-alcalinos e granitos biotíticos, associados com pequenas intrusões de rochas máficas (Azevedo, 1996; Azevedo *et al*, 2005). Em 1977, Corretgé *et al* sugeriu a formação de um outro grupo, onde se incluíam os granitos mistos. Estes dois grupos de granitóides não são exclusivos de um determinado intervalo de idades. No Maciço Ibérico encontram-se ambos os tipos de granitos, quer sin- cinemáticos quer tardi- a pós-cinemáticos (Ferreira *et al*, 1987; Pinto *et al*, 1987; Azevedo *et al*, 2005).

Tabela 3.2. – Critérios geoquímicos e petrográficos para a classificação dos granitóides Hercínicos Ibéricos, segundo Capdevila & Floor (1970) (extraído e adaptado de Azevedo, 1996).

Granitos de duas micas	Granitóides calco-alcalinos
CaO baixo (< 1%)	CaO moderado a elevado (> 1%)
Al ₂ O ₃ elevado	Al ₂ O ₃ moderado a elevado
Sílica elevada (> 70%)	Sílica moderada a elevada (> 64%)
Fortemente peraluminosos, A/CNK > 1.2	Metaluminosos a fracamente peraluminosos, A/CNK < 1.2
Plagioclase – albite a oligoclase	Plagioclase – oligoclase a andesina sódica
As plagioclases não zonadas são as mais comuns	Plagioclases zonadas abundantes
Moscovite comum	Moscovite rara
Presença de andalusite, silimanite e/ou cordierite	Presença de anfíbola nas variedades mais máficas
Raramente contêm fenocristais de feldspato potássico	São comuns as variedades c/ fenocristais de feldspato potássico
A monazite é um acessório comum	A alanite e a esfena são acessórios comuns
São comuns os encraves metassedimentares restíticos	São comuns os encraves máficos; os encraves restíticos são raros

Os granitos de duas micas e os leucogranitos são sin- a pós- tectónicos e têm sido interpretados como produtos de anatexia húmida de materiais heterogéneos da crosta média, durante o clímax do metamorfismo regional. Estes granitos parecem portanto corresponder aos granitos Tipo S de Chappell & White (1974). Ressalve-se que nem todos os granitos que contêm biotite e moscovite podem ser incluídos neste grupo. Existem muitos granitos essencialmente biotíticos, mas com proporções variáveis de moscovite (por vezes elevadas), que mostram características híbridas, como o atesta a presença de encraves máficos microgranulares (Azevedo, 1996; Martins, 1997; Azevedo & Nolan, 1998; Azevedo *et al*, 2005).

No grupo dos granitóides calco-alcalinos e granitos biotíticos ou predominantemente biotíticos incluem-se monzogranitos, granodioritos, tonalitos e quartzomonzogranitos. Apresentam características intermédias entre o Tipo I e o Tipo S de Chappell & White (1974), considerando-se actualmente que a sua origem é mais profunda do que a dos granitos de duas micas, e envolve anatexia da crosta inferior e hibridização com magmas derivados do manto (Capdevila *et al*, 1973; Castro *et al*, 1990a., 1990b, 1994, Azevedo, 1996; Martins, 1997; Azevedo & Nolan, 1998; Neiva & Gomes, 2001; Azevedo *et al*, 2005; etc.), podendo portanto ser considerados como granitos de Tipo H.

ii. Classificação estrutural e geocronológica

A primeira classificação dos granitóides hercínicos da ZCI deve-se a Schermerhorn (1956) e Oen (1958; 1970), que baseando-se em critérios tectono-metamórficos subdividiram os granitóides do Norte de Portugal em Granitos Oldest, Granitos Older e Granitos Younger (Tabela 3.3). As primeiras datações radiométricas destes granitos foram realizadas por Priem *et al* (1970) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Classificação baseada em critérios tectono-metamórficos (Schermerhorn, 1956; Oen, 1958, 1970) e respectivas idades absolutas (Priem *et al*, 1970)

<i>Oldest</i>	Granitos pré- Hercínicos e granitos Hercínicos ante D3 (sin-D1 + sin-D2).				
<i>Older</i>	Maciços alongados, concordantes com as estruturas D3, aflorando nos núcleos de antiformas da 3. ^a fase		Mesozonais		309 ± 11 Ma
<i>Younger</i>	Complexos intrusivos zonados, discordantes relativamente às estruturas D3 e aos granitos <i>Oldest</i> e <i>Older</i> .	Auréolas de metamorfismo de contacto.	Epizonais. Alóctones	Gr. biotíticos e Gr. de duas micas precoces, de grão fino, médio e grosseiro.	290 ± 11 Ma
				Gr. porfiróides biotíticos tardios.	

Em termos estruturais, os dados actuais indicam que o plutonismo varíscico no Maciço Ibérico está fortemente associado à terceira fase de deformação hercínica (D3) (Pinto *et al*, 1987; Ferreira *et al*, 1987; Azevedo, 1996; Ribeiro, 2001). Assim, dependendo das relações entre os plutões graníticos e as fases de deformação hercínica, os granitos *Older* e *Younger* de Schermerhorn (1956) e Oen (1958; 1970) foram subdivididos em vários grupos: os granitóides ante-D3 (sin-D1+2), pouco representativos em termos de volume e geralmente deformados pela D3, os granitóides sin-D3 e os granitóides tardi-pós-D3, que afloram em batólitos de grandes dimensões (Ferreira *et al*, 1987).

Relativamente às relações estruturais com as várias fases de deformação hercínica, em especial com a D3, e à idade absoluta dos diferentes corpos de granitóides, continua a haver discordância entre os diferentes investigadores, discordância essa que está relacionada com diferentes modelos estruturais para uma dada área da ZCI e diferentes métodos de datação (Rb/Sr em rocha total, K/Ar em micas, U/Pb em zircões e monazites). Na tabela 3.4 tentámos fazer uma síntese das diferentes idades atribuídas aos grupos atrás mencionados.

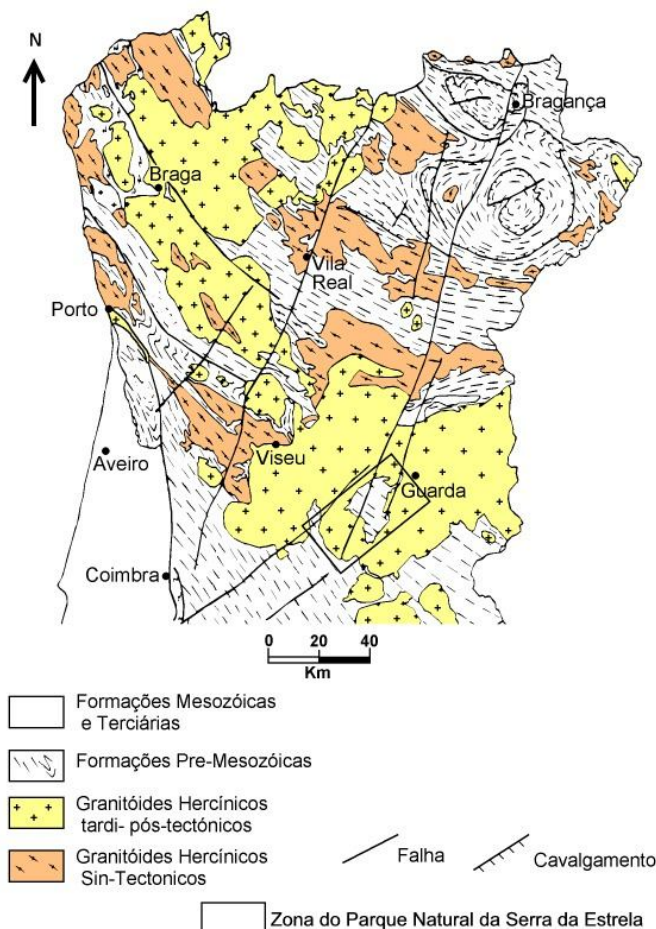


Fig. 3.6.- Distribuição dos granitóides Hercínicos no Norte da Zona Centro Ibérica de Portugal (Dias, 1987).

Tabela 3.4. – Classificação estrutural e geocronológica dos granitóides Hercínicos Ibéricos

	Oen, 1970; Capdevila et al., 1973; Pinto et al., 1987	Ferreira et al (1987), adaptado por Azevedo (1996)	Dias, 2001
Granitóides pós-D ₃			Leucogranitos biotíticos a biotítico – moscovíticos, ligeiramente metaluminosos a peraluminosos 296 – 290 Ma
Granitóides tardi- a pós-D ₃	315 – 270 Ma.	Granitos biotíticos porfiróides de grão grosseiro Granitos biotíticos e monzogranitos de duas micas Gabros e dioritos 290 – 280 Ma 315 – 310 Ma	Leucogranitos de duas micas fortemente peraluminosos ~ 300 Ma
Granitóides sin- a tardi-D ₃		Leucogranitos e granitos de duas micas Granodioritos e granitos biotíticos heterogêneos 330 – 320 Ma	
Granitóides tardi-D ₃			Monzogranitos e granodioritos essencialmente biotíticos, fraca a moderadamente peraluminosos, por vezes associados a rochas de composição básica a intermédia 310 – 305 Ma **
Granitóides Sin-D ₃	340 – 320 Ma		Leucogranitos de duas micas fortemente peraluminosos e monzogranitos / granodioritos biotíticos fraca a moderadamente peraluminosos 320 – 310 Ma **
Granitóides sin-D ₁₊₂ (ante-D ₃)		Granitos de duas micas e granitos biotíticos heterogêneos, geralmente deformados 380 – 330 Ma	

** Mais recentemente Valle Aguado *et al* (2005) determinaram pelo método do U/Pb em zircões e monazites, idades de **307 Ma** para o granito sin-D₃ de Junqueira e **306 Ma** para o granito tardi-D₃ de Cota

Aos granitóides pré-hercínicos do Pré-Câmbrico e Paleozóico Inferior, hoje metagranitóides (a maioria ortognaisses), foi atribuída uma idade entre 600 e 450 ma (Azevedo, 1996)

iii. Génese dos granitóides hercínicos

De um modo geral existe concordância entre os geólogos ibéricos sobre a origem dos granitos de duas micas sin-D3. Como já se disse anteriormente, pensa-se serem granitos tipo S, gerados numa crusta continental espessa, por fusão parcial de metassedimentos e/ou mistura de metagrauvaques e gnaisses pelíticos (Capdevila *et al*, 1973; Corretgé, 1983).

Contrastando com os granitos anteriores, a origem dos granitóides biotíticos e de duas micas tardi- a pós- D3 da ZCI é bastante mais controversa. Azevedo (1996) cita alguns dos modelos propostos para a origem e evolução destes granitóides:

- fusão parcial de grau moderado a elevado de misturas de metassedimentos e rochas metaígneas e subsequente cristalização fraccionada (Albuquerque, 1978; Gil Ibarguchi *et al*, 1984; Ortega & Gil Ibarguchi, 1989);
- Castro *et al* (1991a., 1991b, 1994) propõe um cenário petrogenético envolvendo hibridização de fundidos félsicos crustais e magmas derivados do manto;
- combinação de cristalização fraccionada - assimilação para os granitos pós-D3 da região de Braga (Dias *et al*, 1992; Dias & Leterrier, 1994) e para os granitóides pós-D3 de Viseu (Godinho *et al*, 1988; Neves, 1991);
- Beetsma (1995) considera que os granitos pós-tectónicos do Norte de Portugal resultaram da mistura em grande escala entre fundidos de anatexia crustal e magmas gabróicos derivados do manto, seguido de um sistema de diferenciação magmática aberto, a diferentes níveis crustais;
- Azevedo (1996) propõe para os granitos da região de Fornos de Algodres um processo de evolução complexo; os granitos porfiróides biotíticos de grão grosseiro seriam gerados por fusão parcial de metassedimentos da crusta inferior, provocada em parte pela intrusão na base da crusta de magmas mantélicos, seguida de hibridização e cristalização fraccionada; na sequência

da cristalização fraccionada dos magmas anteriores e de processos de assimilação crustal gerar-se-iam os granitos de duas micas; por fim os granitos de duas micas de grão fino seriam gerados por um processo de fusão parcial de metagrauvaques e/ou rochas metaígneas da crosta inferior, seguido de um processo de cristalização fraccionada.

Dias (2001) sugere que a maioria dos granitóides tardi- pós-D3 têm origem crustal, embora não exclua a participação de um componente mantélico no caso dos monzogranitos e granodioritos de índice de aluminosidade baixo a moderado, e que se encontram associados a enclaves máficos microgranulares e a rochas de composição básica a intermédia.

Baseados em dados petrográficos, geoquímicos e isotópicos, Azevedo *et al.* (2005) propõem que os enormes volumes de magmas graníticos tardi-pós-D3 do batólito das Beiras (Viseu –Fornos de Algodres, fig. 3.14) se formaram por um processo complexo que envolveu fusão parcial anidra de materiais da crosta inferior, provocada pela intrusão na base da crosta de magmas mantélicos, seguida de cristalização fraccionada, hibridização e assimilação crustal (AFC). As rochas mais evoluídas seriam produzidas a partir do magma híbrido por cristalização fraccionada.

3.2. – GEOLOGIA DA ZONA ESTUDADA

3.2.1. - Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE)

A região do Parque Natural da Serra da Estrela (fig. 3.7) está representada nas folhas da Carta Geológica à escala 1:50 000, publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal (fig. 3.8). Para além das cartas referidas, existe desde 1999 uma carta Geológica Global do PNSE elaborada por Ferreira & Vieira (1999).



Fig. 3.7 – Localização do PNSE (extraído da *Carta Geológica Simplificada do PNSE*, 1999).

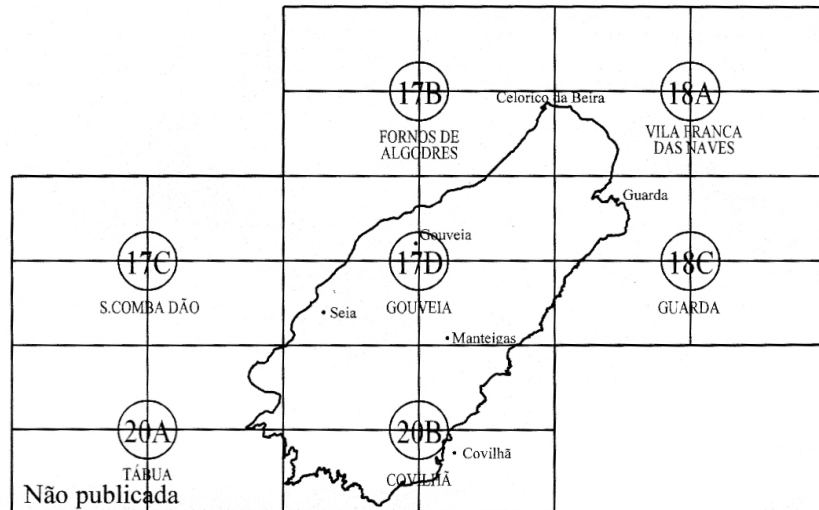


Fig. 3.8 - Folhas da Carta Geológica à escala 1:50 000, publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal, cartografam a área do Parque Natural da Serra da Estrela. Extraído da *Carta Geológica Simplificada do PNSE*, 1999.

A região do PNSE (Fig. 3.9) é constituída maioritariamente por granitóides hercínicos, de composição mineralógica e textura variadas, que intruem metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e um complexo gnáissico-migmatítico (Ferreira & Vieira, 1999). Ocorrem ainda, disseminados pela região, numerosos filões de quartzo e, em menor quantidade, filões aplito-pegmatíticos e filões básicos (Teixeira *et al*, 1963, 1967, 1974; Ferreira & Vieira, 1999). Bastante localizados e ocupando áreas pequenas, existem depósitos sedimentares cenozóicos, que correspondem a aluviões, depósitos de vertente, terraços fluviais e depósitos de natureza fluvio-glaciária e glaciária (Ferreira & Vieira, 1999; Martins, 2006).

Os granitos hercínicos, que ocupam grande parte do PNSE, distinguem-se pela mineralogia, textura e composição química. De entre estes, pela área que ocupam, há que salientar o Granito de Seia e o Granito da Covilhã. São granitos monzoníticos, biotíticos ou predominantemente biotíticos, de textura porfiróide, com matriz de grão grosseiro (Granito de Seia) a médio (Granito da Covilhã) (Ferreira & Vieira, 1999). Os encraves máficos microgranulares são bastante abundantes nestes granitos, e em certas zonas (Lagoa Comprida, Pedreira do Monte das Carrascas) pode mesmo observar-se para além dos encraves, uma rocha híbrida, de cor intermédia, com contactos graduais ou bruscos com o granito encaixante, e que denominámos aqui como “zonas de mistura”. A zona de mistura da Lagoa Comprida foi cartografada por Ferreira & Vieira (1999) como um granodiorito.

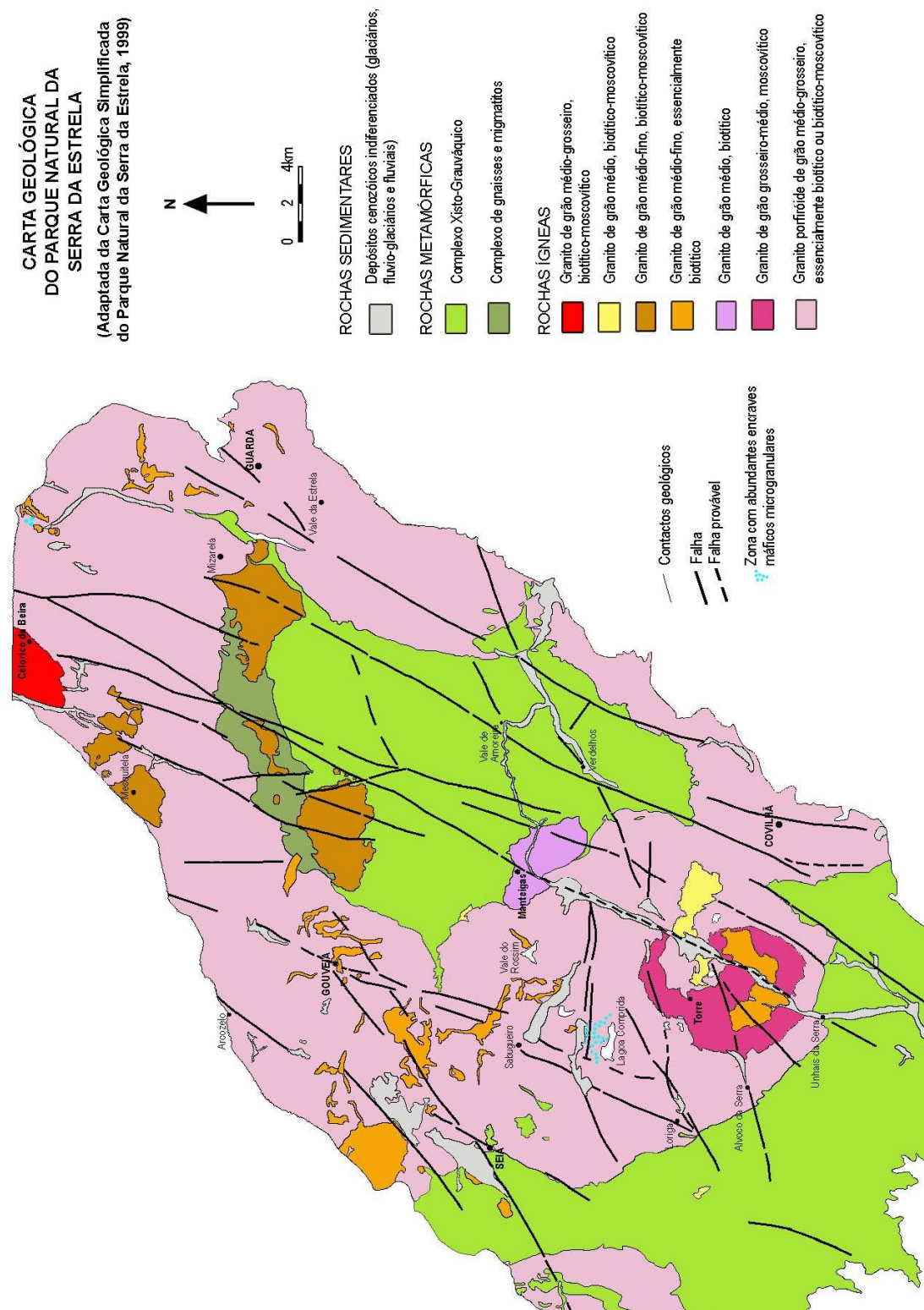


Fig. 3.9 – Carta Geológica do Parque Natural da Serra da Estrela (adaptado da *Carta Geológica Simplificada do PNSE*, 1999).

Na verdade nesta zona, como em outras, é difícil cartografar o limite entre a rocha de composição granodiorítica e o granito encaixante, pelo que decidimos não o fazer na carta geológica que apresentamos (fig. 3.13).

O granito de Seia foi incluído no grupo dos granitos tardi-D3, enquanto o granito da Covilhã foi considerado como tardi- a pós D3 (Ferreira & Vieira, 1999). A existência de contactos graduais entre os dois granitos, referida pelos autores citados, leva-nos a considerar que a sua intrusão terá sido quase simultânea.

Estes dois granitos formam uma larga mancha, que se prolonga para fora dos limites do PNSE, nomeadamente para a região de Fornos de Algodres. À escala regional é visível uma certa tendência para a localização das fácies mais grosseiras no interior, enquanto as fácies de grão médio predominam nas zonas externas do batólito.

3.2.1.1. – Pedreira do Monte das Carrascas

A Pedreira do Monte das Carrascas localiza-se junto ao limite Nordeste do Parque Natural da Serra da Estrela, próximo de Lageosa do Mondego, a Este de Celorico da Beira (Fig. 3.10). Esta Pedreira encontra-se activa, sendo aí explorada gravilha para ser utilizada em obras, nomeadamente a construção de estradas.

Na pedreira o granito predominante é o granito porfiróide de grão grosseiro, que corresponde ao Granito de Seia, tendo por base os trabalhos publicados sobre a região (Teixeira *et al.*, 1963; Ferreira & Vieira, 1999). Aqui o granito apresenta textura porfiróide, de grão grosseiro a médio (podendo em alguns casos tornar-se muito grosseiro), com megacristais de feldspato e plagioclase. O feldspato é muito abundante e alguns cristais atingem dimensões que ultrapassam os 10 cm de comprimento, tendo um aspecto bastante alongado e mostrando, em alguns casos, uma certa orientação de fluxo magmático, já que não existem quaisquer evidências de deformação. Por vezes apresenta schlierens biotíticos e encraves metassedimentares, alguns conservando ainda a primitiva estrutura orientada.

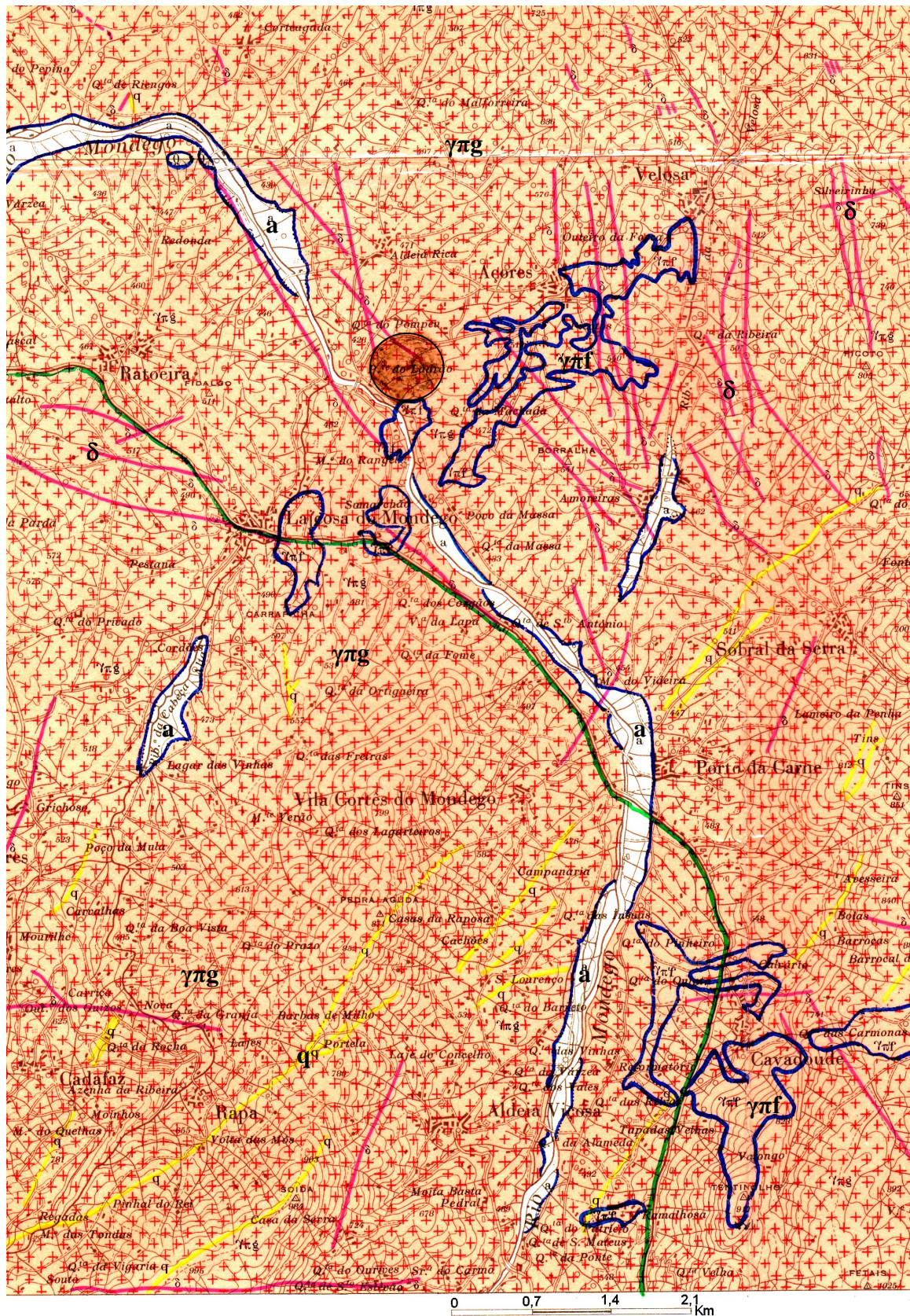


Fig. 3.10 – Extracto da Carta Geológica de Portugal 1:50 000, 18-A (Vila Franca das Naves), publicada em 1963, pelos Serviços Geológicos de Portugal. A Pedreira do Monte das Carrascas está assinalada a castanho. A linha verde representa o limite do PNSE.

Legenda: γpg – Granito Porfíroide de Grão Grossoeiro; γpf – Granito Porfíroide de grão fino; δ - Filões de Rochas Básicas; q – Filões de Quartzo; a – Formações Aluviais.

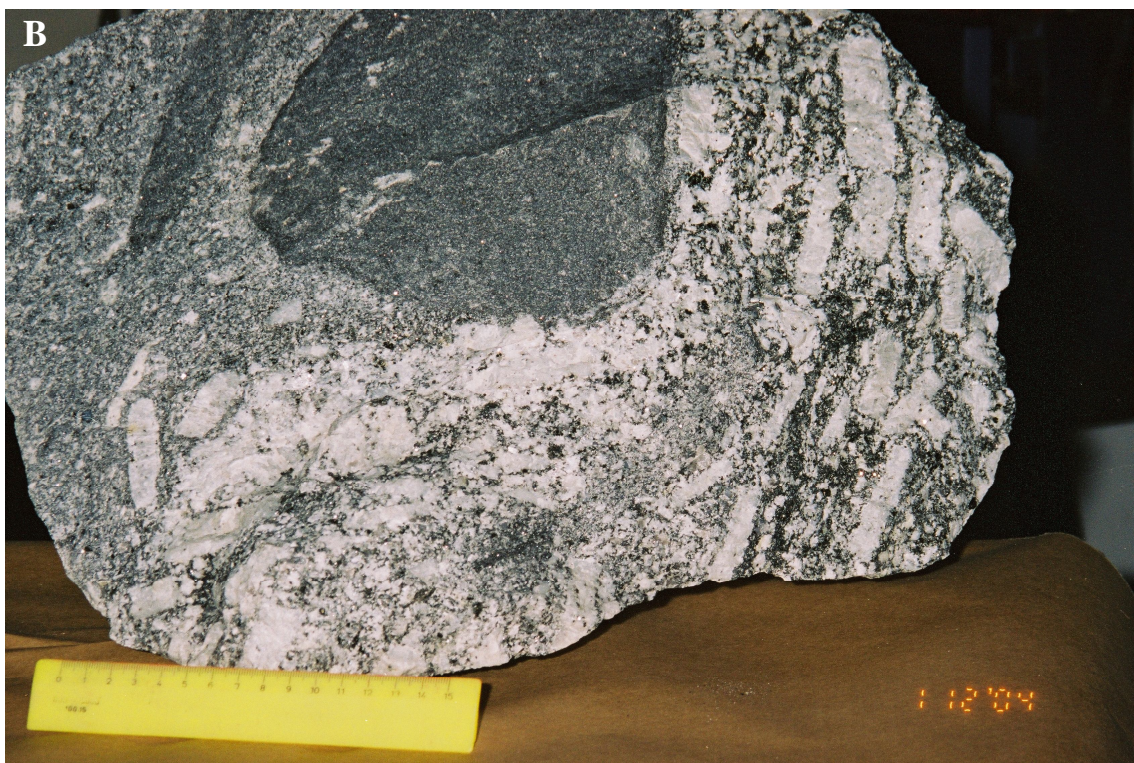












Fig. 3.11 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M) – Zona de mistura da Pedreira do Monte das Carrascas.

Na área em exploração da Pedreira pode observar-se uma zona de mistura. Nesta zona o granito porfiróide de grão grosseiro contem numerosos encraves máficos microgranulares de dimensões muito variadas (centimétricos a métricos), que mostram relações variadas com o granito encaixante: podem ter contactos bruscos, marcados por uma orla de reacção biotítica, ou contactos graduais (fig. 3.11 – A, B, D, E, F, G, H, I, J, K, L). Estes encraves têm uma composição variada (granodiorítica a tonalítica), sendo constituídos fundamentalmente por quartzo, plagioclase e biotite. É frequente observarem-se megacristais de feldspato total ou parcialmente incluídos nos encraves. Os encraves máficos encontram-se também dispersos no seio de uma rocha híbrida, de cor mais escura que o granito encaixante, de grão médio-fino, muito biotítica, que contem pequenos megacristais de feldspato dispersos na matriz (fig. 3.11 – C). Geralmente esta rocha apresenta contactos graduais com o granito porfiróide grosseiro.

Embora raros, também estão presentes nesta zona alguns encraves metassedimentares (fig. 3.11 – M).

Entre Lageosa do Mondego e Velosa, rodeado pelo granito porfiróide de grão grosseiro, afloram manchas pouco extensas de um granito porfiróide de grão fino, com predominância da biotite em relação à moscovite. Este granito apresenta megacristais de feldspato muito desenvolvidos. Nas proximidades da pedreira, envolvidas pelo granito porfiróide grosseiro, com o qual contacta de modo brusco, podemos ainda encontrar manchas de um granito de grão fino não porfiróide, de duas micas, com predominância de biotite (fig. 3.11 - K). Por vezes o granito mostra uma certa tendência porfiróide, devido à presença de escasso fenocristais de feldspato. Na Carta Geológica do PNSE, estes granitos foram denominados por Granito da Pedrice (Ferreira & Vieira, 1999)

São também bastante abundantes os filões tanto de quartzo como de rochas básicas. Muitos dos filões de quartzo estão mineralizados por estanho e volfrâmio, podendo também apresentar urânio. O quartzo é, no geral, branco leitoso. Os filões de rochas básicas são, no geral, diques doleríticos e estão bastante alterados. Na maioria dos casos não têm mais de 1 a 2m de espessura, sendo o comprimento bastante variável, existindo alguns com 3 a 4 km (Fig. 3.12).



Fig. 3.12 (A, B) – Filão básico (dique dolerítico) que aflora na Pedreira do Monte das Carrascas.

3.2.1.2. – Lagoa Comprida

A zona da Lagoa Comprida situa-se dentro dos limites do PNSE, a Noroeste do alto da Torre. A caracterização desta zona foi feita com base em trabalhos publicados (Teixeira, *et al*, 1974; Aires-Barros & Santos, 1966; Ferreira & Vieira, 1999) e também com base no trabalho de campo realizado.

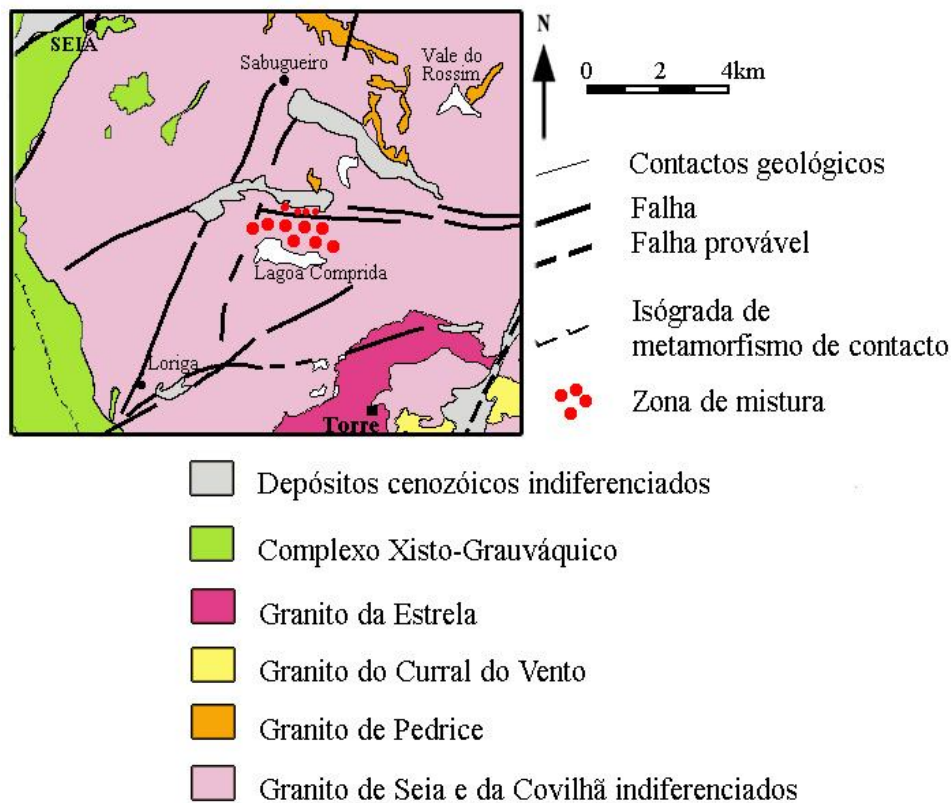


Fig. 3.13 – Extracto da Carta Geológica do PNSE, adaptado e simplificado.

Em termos geológicos, a rocha que predomina na região é o granito porfiróide de grão grosseiro, de duas micas, mas predominantemente biotítico – Granito de Seia de Ferreira & Vieira, 1999 (fig. 3.13). Este granito é muito idêntico ao granito porfiróide de grão grosseiro, que aflora na Pedreira do Monte das Carrascas. Contém abundantes encraves máficos microgranulares.

Na margem norte da Lagoa Comprida afloram pequenas manchas de um granito de cor avermelhada / rosada, texturalmente semelhante ao granito porfiróide grosseiro que o rodeia, mas com composição mineralógica diferente. O granito rosa é composto

essencialmente por feldspato e plagioclase, não contendo quartzo (ou com quartzo em pequena proporção) e com clorite resultante da alteração da biotite, o que lhe confere uma composição sienítica. A passagem do granito rosa ao granito porfiróide da região é muito gradual, caracterizando-se pelo progressivo desaparecimento do feldspato rosa e enriquecimento em quartzo e biotite, pelo que se presume que as manchas de granito rosa resultaram de um processo de alteração metassomática do granito porfiróide da região, processo este que é designado por epissienitização. Este processo ocorre na fase final de cristalização do magma, devido à intensa circulação de fluidos hidrotermais ricos em Fe, que ao circular nas fracturas provocam modificações profundas na composição mineralógica e química da rocha. Afloramentos semelhantes de granito epissienitizado (fig. 3.14) podem ser encontrados em muitas outras áreas.



Fig. 3.14 – Granito Epissienitizado da Lagoa Comprida.

Imediatamente a Norte da Lagoa Comprida, nomeadamente na Pedreira do Covão do Curral (pedreira abandonada junto à estrada que vai do Sabugueiro para a Lagoa Comprida) aflora uma rocha constituída pelo granito porfiróide grosseiro e por um “granito” de cor mais escura, muito biotítico, de grão fino, que Aires de Barros & Santos

(1966) e Teixeira *et al* (1974) denominam de "Brecha Granítica, resultante de digestão incompleta do granito fino pelo porfiróide grosseiro". Ferreira & Vieira (1999) cartografaram esta rocha como Granito do Covão do Curral e caracterizaram-na como um granodiorito biotítico, de grão fino e tendência porfiróide, em cuja matriz se destaca a presença de glóbulos de quartzo, rodeados de biotite. Nesta zona os encraves máficos microgranulares são extremamente abundantes, quer no granito porfiróide, quer no granodiorito (fig. 3.15 – A, B e C). Como já se referiu anteriormente, os contactos entre o granodiorito e o granito são variáveis, mas frequentemente muito graduais, parecendo evidenciar relações de mistura e hibridização entre dois magmas, tal como acontece na Pedreira do Monte das Carrascas, correspondendo o granodiorito a uma rocha híbrida. Por vezes é também possível encontrar encraves metassedimentares (fig. 3.15 – D).

Na zona mais próxima da Lagoa Comprida, este granodiorito encontra-se também epissienitizado, apresentando as mesmas características referidas para o granito epissienitizado de grão grosseiro.

São numerosos os filões que atravessam os granitos desta zona, nomeadamente de quartzo, de doleritos e de aplitos e pegmatitos (estes apresentam-se dispersos na área do mapa, mas nem sempre são representáveis, devido às reduzidas dimensões que possuem).

Os filões de quartzo são em geral de pequenas dimensões e de direcção NE – SW e NNE – SSW. São formados por quartzo branco, de aspecto leitoso, quartzo ferruginoso e também quartzo acinzentado.

Os filões doleríticos estão geralmente muito alterados. Um dos mais importantes é o do Cântaro Magro (E-W) com cerca de 1,250 km de extensão, o qual está encaixado no granito porfiróide grosseiro.

Por último, é importante referir a presença na zona da Lagoa Comprida de depósitos glaciários, constituídos por blocos arredondados, de dimensões muito variáveis, amontoados no seio de detritos finos. São também bem visíveis, junto da Lagoa Comprida e na zona das Salgadeiras, rochas polidas e estrias (as estrias são mais notórias quando observadas com luz rasante), resultantes da erosão provocada pelos glaciares que cobriram grande parte da Serra da Estrela durante a última glaciação (glaciação de Wurm).





Fig. 3.15 (A, B, C, D) – Zona de mistura da Pedreira do Covão do Curral.

3.2.1.3 – Zona de Viseu – Fornos de Algodres

Embora não faça parte da área em estudo, incluímos aqui uma breve caracterização da zona de Viseu – Fornos de Algodres, na medida em que os granitóides que nela afloram são muito semelhantes ao do PNSE, quer do ponto de vista textural e mineralógico, quer do ponto de vista geoquímico. Aliás como se mencionou anteriormente, o granito porfiróide de grão grosseiro e médio têm continuidade nesta zona, fazendo parte do grande batólito das Beiras.

Nesta região existem numerosas zonas de mistura, uma das quais é a zona de mistura do Dão, situada na estrada 329-1, logo após se passar a ponte sobre o rio Dão, em direcção a Penalva Castelo. A zona de mistura que aqui se pode observar é excelente para a realização de uma saída de campo, contrariamente à da Pedreira do Monte das Carrascas, que por se encontrar em laboração, apresenta um certo risco para alunos e professores. A caracterização desta zona foi feita com base em estudos recentes, nomeadamente Azevedo (1996), Azevedo & Nolan (1998), Azevedo *et al*, 2005, Valle Aguado *et al*, (2005).

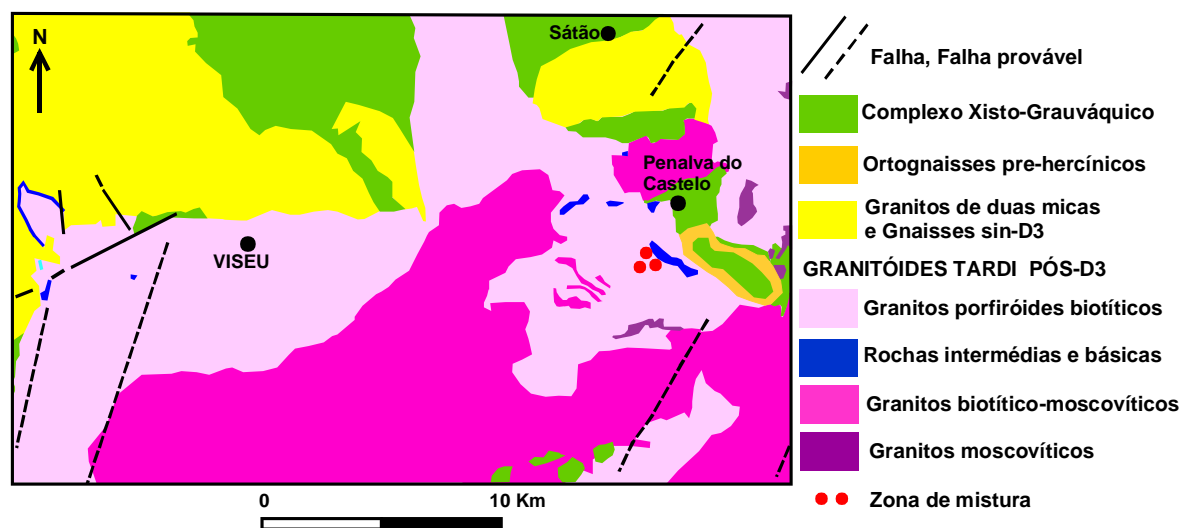


Fig. 3.16 – Extracto da carta geológica de Viseu-Fornos de Algodres, simplificada a partir de Azevedo *et al*. (2005)

A zona de Viseu – Fornos de Algodres, está localizada no Centro Norte de Portugal, fazendo parte da ZCI. Consiste num conjunto de vários granitóides Varíscos que intruíram metassedimentos do CXG, do Ordovícico e do Carbónico, que se apresentam afectados de modo diverso pelas fases de deformação Varísca (D1, D2 e D3). Com excepção de alguns corpos de gnaisses e granitos sin-D3 deformados, a maioria das rochas graníticas desta zona ocorre sob a forma de plutões, discordantes em relação às estruturas D3, com pouca ou nenhuma evidência de deformação, tendo sido inseridos pelos autores acima mencionados no grupo de granitóides hercínicos tardi-pós D3. No seu conjunto estes plutões formam um grande batólito, designado por Batólito das Beiras (Azevedo *et al.*, 2005).

Os plutões tardi-pós D3 são constituídos por quatro grupos distintos de granitóides: (1) rochas intermédias e básicas; (2) granitos porfiróides biotíticos; (3) granitos biotítico-moscovíticos e (4) granitos moscovíticos. Faremos de seguida uma breve descrição dos granitos porfiróides biotíticos e das rochas intermédias e básicas.

1. Rochas Intermédias e Básicas (grabronoritos, monzodioritos, quartzo-monzodioritos e granodioritos). Estas rochas estão espacialmente associadas com os granitos porfiróides biotíticos.

Os grabronoritos têm grão médio, textura granular e são constituídos por plagioclase, piroxena (clinopiroxena e ortopiroxena), hornblenda, biotite e quartzo intersticial. Acessoriamente contém apatite, magnetite, ilmenite e zircão. A alteração destas rochas deu origem a minerais como o talco, anfíbola secundária (actinolite-tremolite), clorite, calcite e sericite.

As rochas intermédias têm uma granulometria variável, textura granular, frequentemente porfiróide (sobretudo as variedades mais evoluídas) e são constituídas por plagioclase (variando de andesina a oligoclase), hornblenda e biotite. A quantidade de quartzo e feldspato potássico, frequentemente pertítico, aumenta à medida que as rochas se tornam mais evoluídas.

2. Granitos Porfiróides Biotíticos de grão grosseiro/médio

Os monzogranitos porfiróides biotíticos constituem a litologia volumetricamente mais importante desta zona e ocorrem como uma intrusão de forma irregular, com cerca de 7 km de comprimento por 35 km de largura. Apresentam pouca ou nenhuma evidência textural de deformação. Estes granitos contém encraves máficos microgranulares abundantes, irregularmente distribuídos. A abundância dos encraves máficos microgranulares aumenta com a aproximação aos contactos com as rochas intermédias e básicas, e ao mesmo tempo os granitos tornam-se mais máficos e heterogéneos. Torna-se assim evidente o envolvimento de processos de mistura na sua petrogénese. Mineralogicamente estes granitos contém fenocristais de feldspato potássico, por vezes de grandes dimensões (com mais de 8 cm de comprimento), inseridos numa matriz de grão médio a grosseiro de quartzo, plagioclase (oligoclase a andesina), microclina pertítica e biotite. Os minerais acessórios são apatite, zircão, monazite, e ilmenite.

Na Zona da Pedreira do Monte das Carrascas, não afloram gabros. Os únicos afloramentos conhecidos, associados aos granitos porfiróides biotíticos do batólito das Beiras, ocorrem na região de Viseu. Apresenta-se aqui uma brevíssima caracterização mineralógica dos mesmos, baseada nas amostras estudadas por investigadores da Universidade de Aveiro, no âmbito do Projecto PRAXIS 2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) – "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta", pelo que agradecemos a cedência desses dados.

Estes gabros são rochas de grão médio com textura hipidiomórfica granular. São constituídos por plagioclase, clinopiroxena (augite), ortopiroxena, hornblenda e biotite, ricas em Mg, e quartzo intersticial. Apresentam apatite, magnetite, ilmenite e zircão como minerais acessórios. Em relação aos minerais de alteração apresentam sericite, talco, clorite, calcite e anfíbola uralítica. Em termos de classificação, inserem-se no grupo dos gabrodioritos quartzíticos (Azevedo *et al*, 2005).

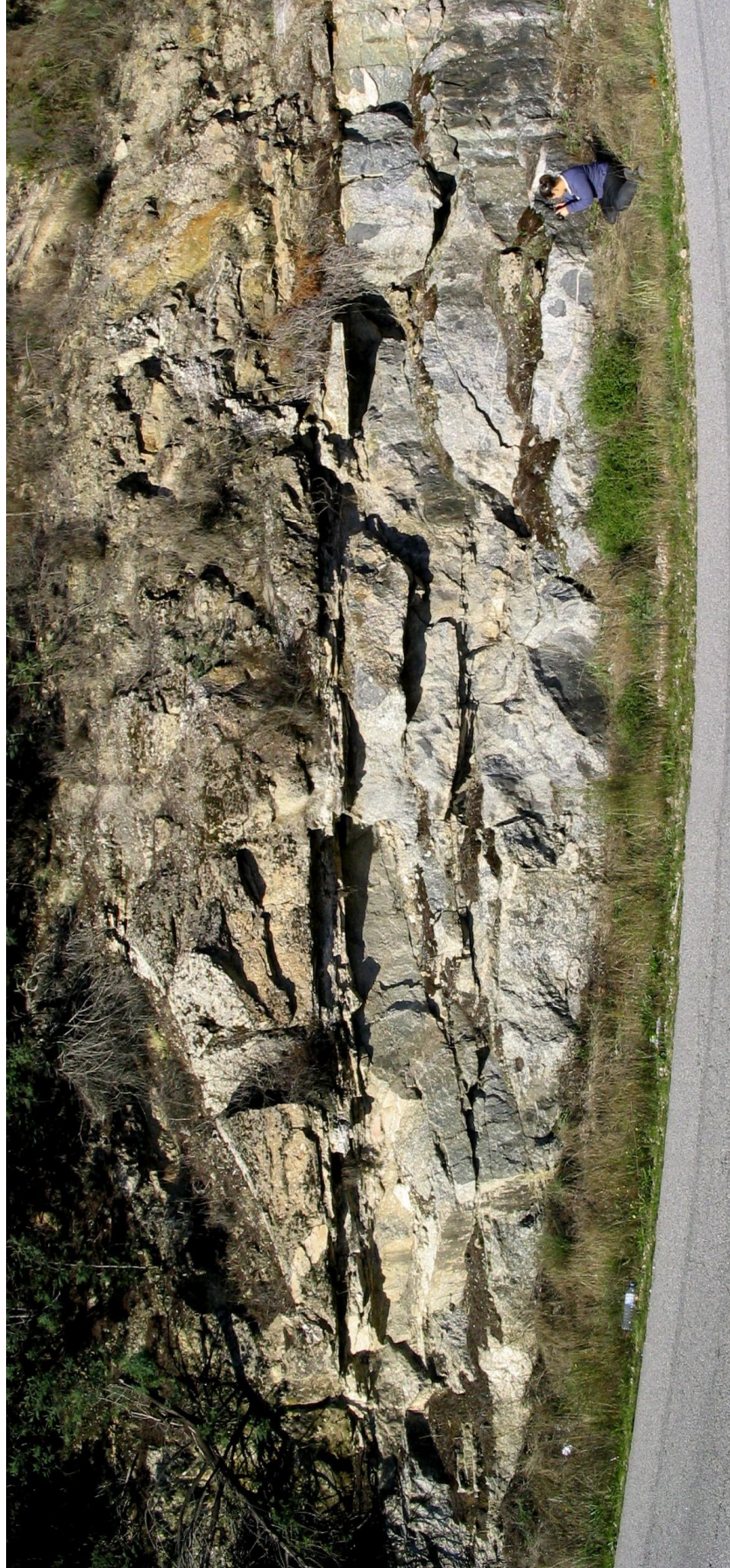


Fig. 3.17 – Vista geral da zona de mistura do Dão (Penalve do Castelo)



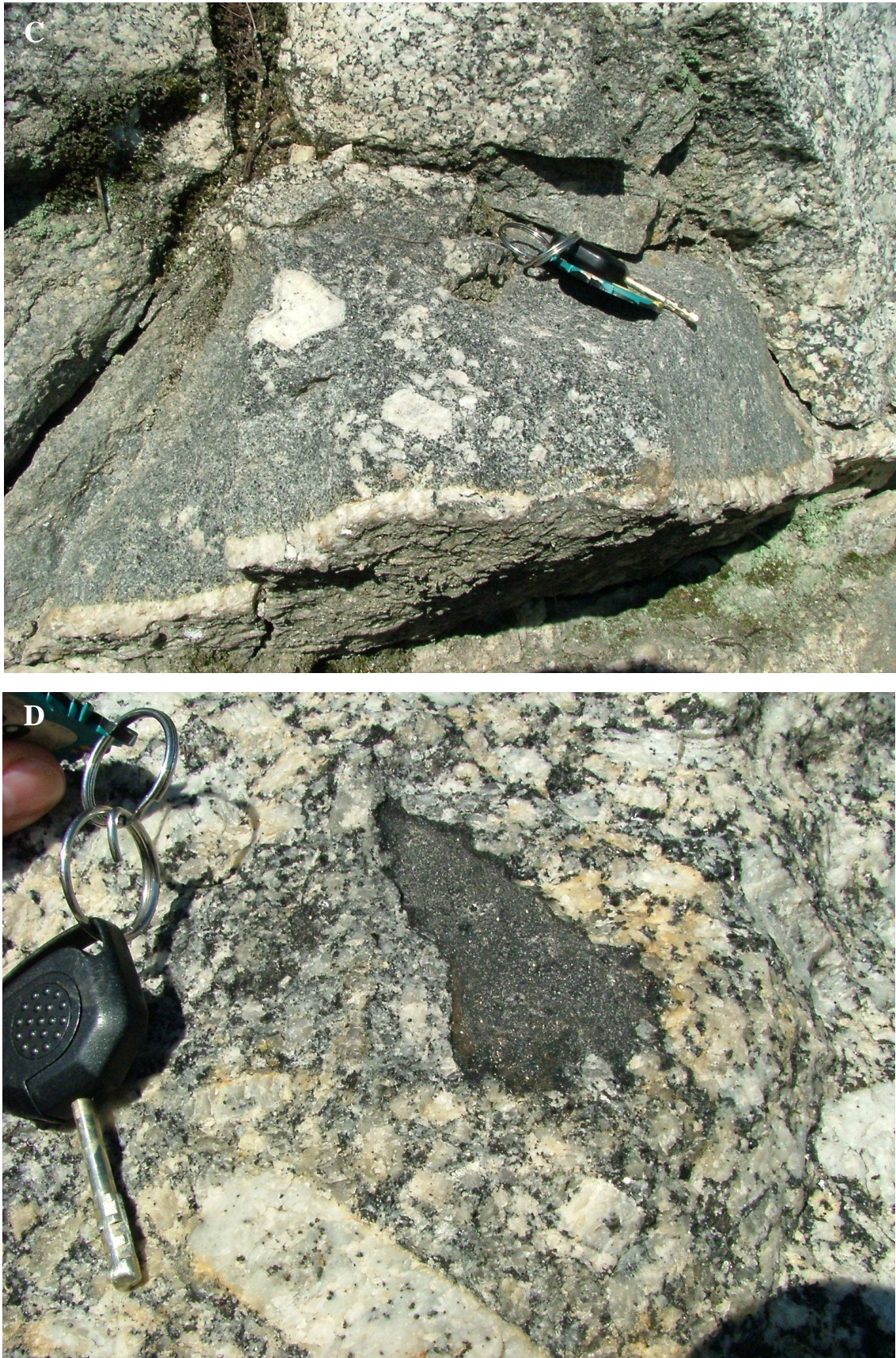


Fig. 3.18 (A, B, C, D) – Zona de mistura do Dão (Penalva do Castelo)

4 – PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA

Neste capítulo do presente trabalho descrevem-se, do ponto de vista petrográfico e geoquímico, os granitóides aflorantes na zona da Pedreira do Monte das Carrascas. No que diz respeito à análise petrográfica, para além das amostras da Pedreira, apresenta-se ainda a descrição de algumas amostras recolhidas na zona da Lagoa Comprida. Em relação à análise geoquímica, para além dos dados obtidos no âmbito do presente trabalho (Pedreira do Monte das Carrascas), incluímos também dados geoquímicos relativos aos granitos porfiróides biotíticos e rochas intermédias a básicas do batólito das Beiras, que foram estudadas no âmbito do Projecto PRAXIS anteriormente referido, pelo que agradecemos também a cedência desses dados.

4.1. – CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A caracterização petrográfica, que a seguir se apresenta, baseia-se no estudo das amostras colhidas no campo e em dados bibliográficos (Teixeira *et al*, 1963; Azevedo, 1996; Azevedo & Nolan, 1998; Ferreira & Vieira, 1999; Azevedo *et al*, 2005).

4.1.1 - Granito Porfiróide Biotítico

Um dos granitos que aflora numa vasta extensão do Parque Natural da Serra da Estrela e aflora na Pedreira do Monte das Carrascas, bem como na Lagoa Comprida é o granito porfiróide de grão médio a grosseiro, essencialmente biotítico. Contudo, alguns autores (Teixeira *et al*, 1963; Ferreira & Vieira, 1999) consideram este granito como sendo de duas micas.

O granito porfiróide biotítico apresenta uma textura holocristalina, fanerítica, porfiróide, com fenocristais de feldspato potássico, que por vezes atingem os 6 x 2 cm, incluídos numa matriz hipidiomórfica, inequigranular, de grão médio a grosseiro, constituída por quartzo, feldspato potássico, plagioclase, biotite, moscovite, apatite, zircão e opacos e, mais raramente, turmalina. Na zona da Lagoa Comprida este granito apresenta

uma matriz mais grosseira do que na Pedreira do Monte das Carrascas, proporções de moscovite menos elevadas, e de acordo com os autores atrás mencionados presença de andaluzite e silimanite. No granito epissienitizado desta zona nota-se uma diminuição acentuada das proporções de quartzo e biotite e uma maior proporção de plagioclase e feldspato potássico. Em nenhuma das zonas o granito evidencia sinais de deformação. As mirmequites são comuns neste granito. No granito epissienitizado da Lagoa Comprida nota-se uma diminuição acentuada das proporções de quartzo e biotite e uma maior proporção de plagioclase e feldspato potássico.

Faremos de seguida uma breve caracterização dos minerais principais do granito.

4.1.1.1. – Feldspato potássico

O feldspato potássico (microclina) ocorre tanto na matriz, com hábito anédrico, como sob a forma de fenocristais, euédricos e subeuédricos em amostra de mão, embora a observação microscópica permita constatar que os seus contornos são frequentemente irregulares. Temos, assim, duas gerações de feldspato, estando a primeira representada pelos fenocristais e a segunda pelo feldspato da matriz. Os fenocristais, frequentemente criptopertíticos, apresentam uma textura com pertites de tipo venular bem desenvolvida, por vezes com tendência grosseira. Tanto o feldspato da matriz como os fenocristais contêm inclusões de biotite, moscovite e plagioclase, sendo estas no entanto mais abundantes nos fenocristais. São também observadas inclusões de quartzo, por vezes goticular, nos fenocristais. No granito epissienitizado da Lagoa Comprida o feldspato potássico apresenta uma cor ligeiramente rosada (figura 4.3).

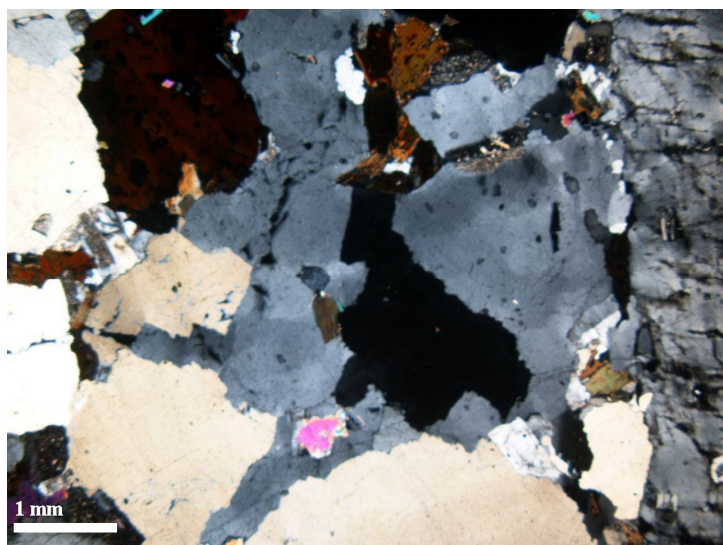


Fig. 4.1 – Aspecto microscópico geral do granito porfiróide de grão grosseiro da PMC. Nicóis cruzados.

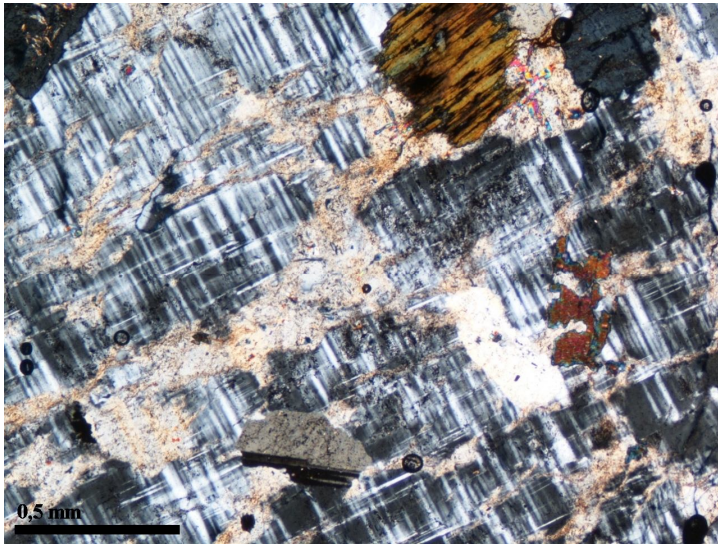


Fig. 4.2 – Fenocristal de microclina moscovitizada, com inclusões de biotite e plagioclase (granito porfiróide epissienitizado da Lagoa Comprida). Nicóis cruzados.



Fig. 4.3 – Aspecto microscópico do granito porfiróide epissienitizado da LC. Nicóis cruzados.

4.1.1.2. – Plagioclase

A plagioclase (oligoclase, ~20-25% mol. An) ocorre na matriz com dimensões variáveis, podendo as de maiores dimensões ser consideradas como microfenocristais. Ocorre também sob a forma de inclusões no feldspato potássico, sendo estas de menores dimensões. Apresenta hábito subeuédrico a anédrico e zonamento contínuo, oscilatório e complexo (podendo no mesmo grão existir vários tipos de zonamento), que em alguns casos se encontra mimetizado por sericite (figura 4.4). Contém inclusões de biotite de pequenas dimensões. Nos bordos da plagioclase é frequente observar mirmequites.

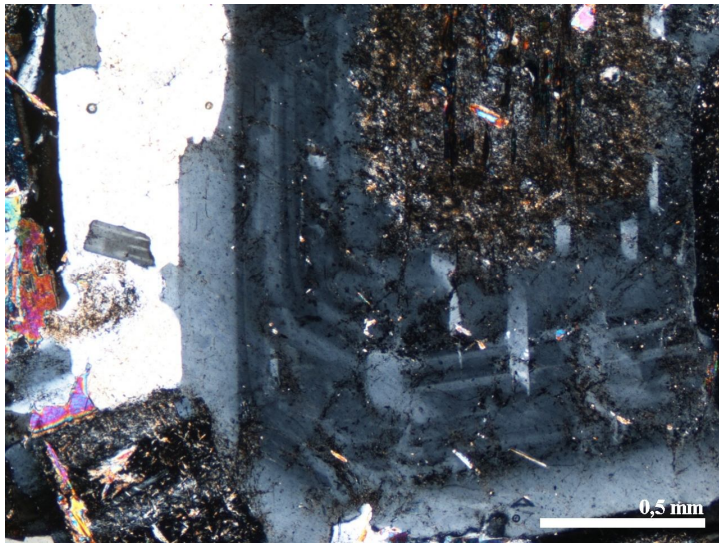


Fig. 4.4 – Plagioclase com zonamento oscilatório (granito porfiróide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis cruzados

4.1.1.3. – Quartzo

O quartzo ocorre sob a forma de grãos anédricos na matriz, onde ocupa os espaços livres deixados pelos outros minerais. Pode conter inclusões de biotite, plagioclase, moscovite e opacos e encontra-se, por vezes, incluído nos bordos dos fenocristais de feldspato, sendo neste caso de menores dimensões. Apresenta frequentemente extinção ondulante, subgranulação (figura 4.5) e bandas de deformação. Existe uma segunda geração de quartzo, anédrico, associado à moscovitização tardia.

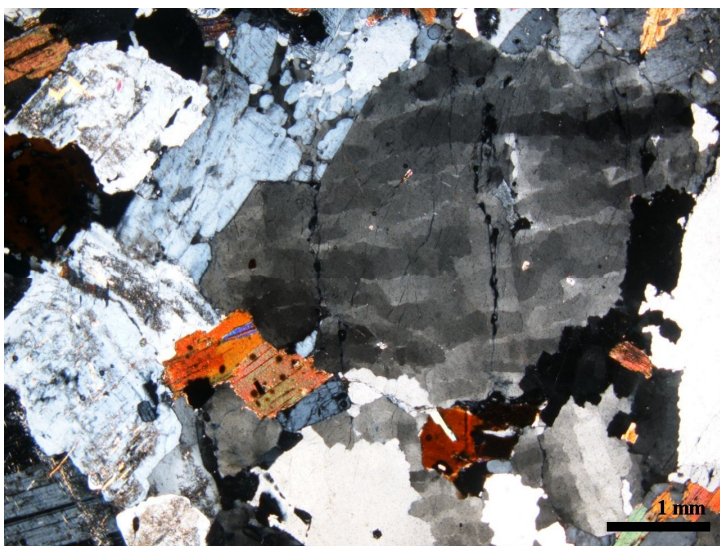


Fig. 4.5 – Quartzo com subgranulação (granito porfiróide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis cruzados.

4.1.1.4. – Biotite

A biotite, de hábito subeuédrico a anédrico, apresenta cor entre o amarelo palha e o castanho-escuro (pleocroísmo), podendo encontrar-se na matriz ou sob a forma de inclusões no feldspato, plagioclase e quartzo, sendo estas de dimensões mais reduzidas. Contém inclusões de zircão, apatite e opacos. Encontra-se frequentemente cloritizada. É comum observar-se a passagem de biotite a moscovite, num processo que pensamos estar associado à moscovitização tardia destes granitos (fig. 4.6).

No granito epissienitizado da Lagoa Comprida a biotite apresenta cor verde e encontra-se, por vezes, cloritizada (figura 4.7).

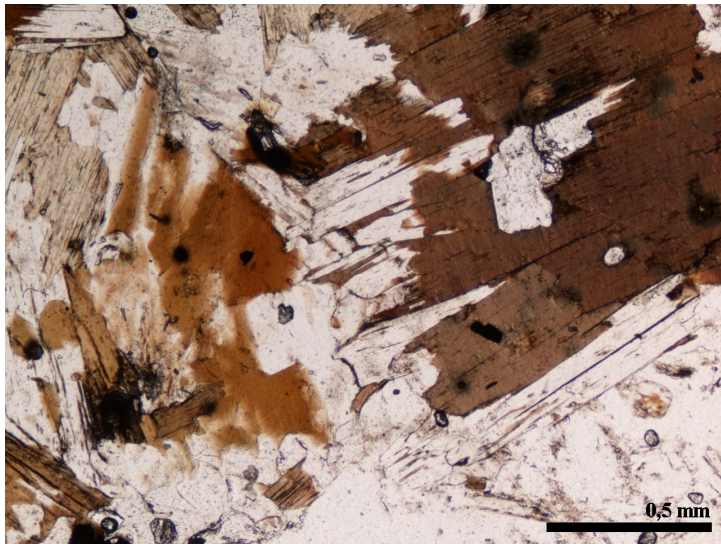


Fig. 4.6 – Moscovitização da biotite (granito porfíroide de grão médio a grosseiro da PMC). Nicóis paralelos.

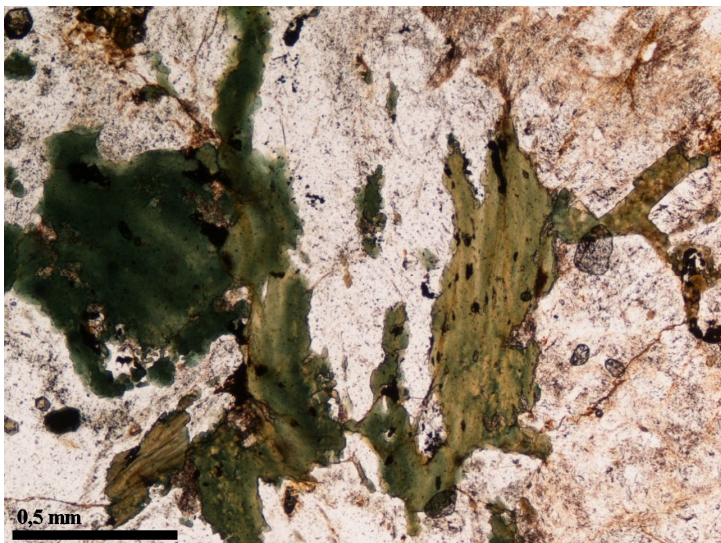


Fig. 4.7 – Biotite de cor verde, parcialmente cloritizada (granito epissienitizado da LC). Nicóis paralelos.

4.1.1.5. – Moscovite

A moscovite apresenta-se de forma anédrica a subeuédrica e com evidências de ser tardia, parecendo ter-se formado à custa de outros minerais, nomeadamente feldspato K, biotite e plagioclase (figura 4.4 e 4.6). Alguma desta moscovite encontra-se associada ao quartzo tardio. Embora muito menos abundante, encontram-se cristais de moscovite euédricos a subeuédricos, geralmente de pequenas dimensões, intercrescidos com biotite, que parecem ser de origem magmática.

4.1.1.6. – Apatite, Zircão e Opacos

A apatite apresenta hábito prismático, por vezes colunar, subeuédrico a euédrico. Os cristais são geralmente de dimensão muito inferiores às dos restantes minerais. Encontra-se fundamentalmente incluída ou associada à biotite, mas também pode encontrar-se sob a forma de inclusões noutros minerais (plagioclase, feldspato).

O zircão apresenta-se sob a forma de grãos de pequenas dimensões, incluídos noutros minerais, em particular na biotite. Tem hábito subeuédrico a euédrico, podendo observar-se alguns prismas alongados.

Os minerais opacos encontram-se sob a forma de grãos de dimensões variadas, mas geralmente pequenas, incluídos nos minerais principais, em particular na biotite.

4.1.1.7. – Ordem de cristalização dos minerais

A sequência de cristalização dos minerais num magma depende da temperatura, pressão e composição do mesmo, nomeadamente do grau de saturação em H₂O (fig. 4.8).

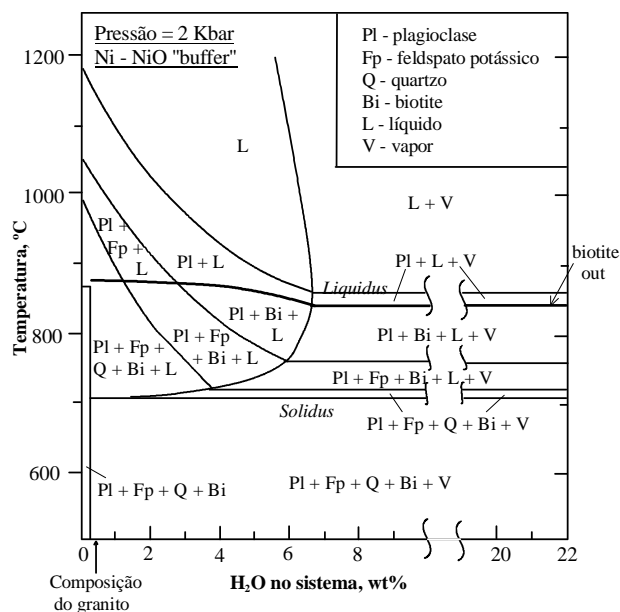


Fig. 4.8 - Diagrama experimental T-H₂O para o granito biotítico de Bohus (SiO₂ - 71.30 %; Corindo normativo - 0%) (adaptado de Maaloe e Wyllie, 1975)

Os estudos experimentais indicam que, uma vez iniciada a cristalização de um mineral, e desde que não ocorram reacções de reequilíbrio com o magma, aquele continuará a cristalizar até se atingir o *solidus*. A existência de inclusões de um mineral em outro não pode, portanto, ser utilizada como critério absoluto para estabelecer a ordem de início da cristalização, já que a formação das inclusões pode resultar da cristalização simultânea dos dois minerais, desde que a velocidade de cristalização do hospedeiro seja significativamente maior do que a do hóspede (Vernon, 1986; Flood e Vernon, 1988). Podemos então concluir que, para o estabelecimento da sequência de cristalização de uma rocha concreta, há que conjugar os dados resultantes do estudo microscópico (composição mineralógica, relações texturais) com os resultados da petrologia experimental, mas tendo sempre em conta que as condições em que decorrem as experiências laboratoriais são muito diferentes das que ocorrem numa câmara magmática. Qualquer processo que altere as condições físico-químicas do sistema, pode provocar uma situação de desequilíbrio, que se irá reflectir na estabilidade das fases minerais e na ordem de cristalização. A existência no magma de restitos, ou a assimilação de material durante a ascensão, podem provocar o mesmo efeito, ou seja, fazer com que determinados minerais comecem a cristalizar mais cedo do que seria de esperar em condições de cristalização em equilíbrio.

A apatite e o zircão contam-se entre os minerais considerados como de cristalização precoce, devido ao facto de ocorrerem quase exclusivamente sob a forma de inclusões. De facto, os dados experimentais indicam realmente que estes dois minerais, dada a sua baixa solubilidade em magmas graníticos (e especialmente em magmas peraluminosos), cristalizam relativamente cedo (Harrison e Watson, 1983), sugerindo que os minerais hospedeiros poderão ser também de cristalização precoce.

Aplicando estes princípios aos granitos em análise poderíamos concluir que a apatite e o zircão são os primeiros minerais a iniciar a sua cristalização, seguidos de muito perto pela biotite e plagioclase.

A biotite e a plagioclase ocorrem frequentemente sob a forma de inclusões nos fenocristais de feldspato potássico, o que sugere que todos estes minerais tiveram um período de cristalização simultâneo. A ausência de inclusões de feldspato potássico na biotite e na plagioclase dever-se-á provavelmente a uma menor taxa de nucleação e maior velocidade de cristalização do primeiro.

Outro mineral que ocorre sob a forma de inclusões nos fenocristais de feldspato é o quartzo gótico. No entanto este tipo de quartzo, ao contrário do que acontece com a biotite e a plagioclase, tende a aparecer no bordo dos fenocristais, o que sugere que o início da sua cristalização é bastante mais tardio do que o início da cristalização dos fenocristais de feldspato.

Relativamente ao feldspato potássico e ao quartzo da matriz, estes terão sido provavelmente os últimos minerais a iniciar a sua cristalização.

Nos estádios tardi- pós-magmáticos, a circulação de fluidos hidrotermais provenientes do próprio magma, e possivelmente também das rochas encaixantes, terão provocado um processo de alteração, que levou à formação de moscovite e quartzo, sericitização das plagioclases e cloritização da biotite.

4.1.2- Granito de grão fino, não profiróide de duas micas

Na Pedreira do Monte das Carrascas podem observar-se pequenos afloramentos deste granito. No que se refere à textura, é uma rocha holocristalina, fanerítica, inequigranular de grão fino, com tendência alotriomórfica (figura 4.9). A rocha é constituída por quartzo, feldspato potássico, plagioclase, biotite, moscovite, apatite, zircão e opacos. Como minerais de alteração existem sericite e clorite. Não mostram evidências de deformação intracristalina, excepto no quartzo, que apresenta extinção ondulante e subgranulação. As mirmequites são pouco abundantes.

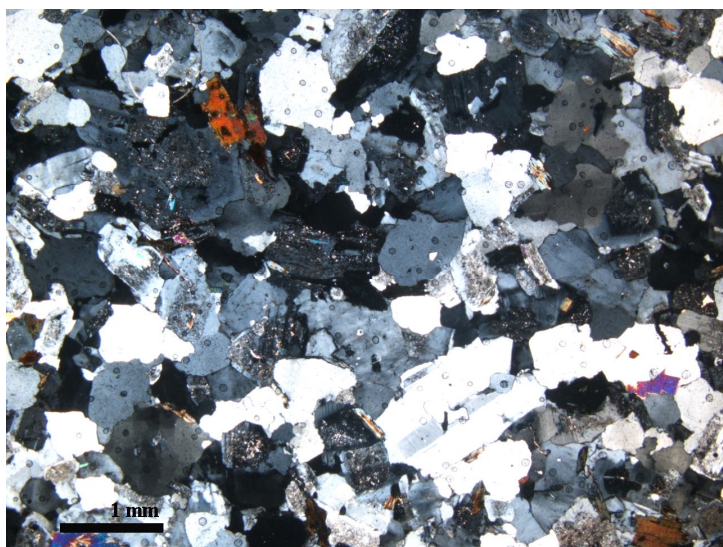


Fig. 4.9 – Aspecto microscópico do granito de grão fino, não profiróide de duas micas da PMC. Nicóis cruzados.

O feldspato potássico (microclina), intersticial, apresenta geralmente hábito anédrico. Existem, contudo, alguns grãos de maiores dimensões, subeuédricos, que conferem à rocha uma certa tendência porfiróide. É nos cristais de maiores dimensões que as inclusões de biotite, plagioclase e quartzo são mais frequentes (figura 4.10).

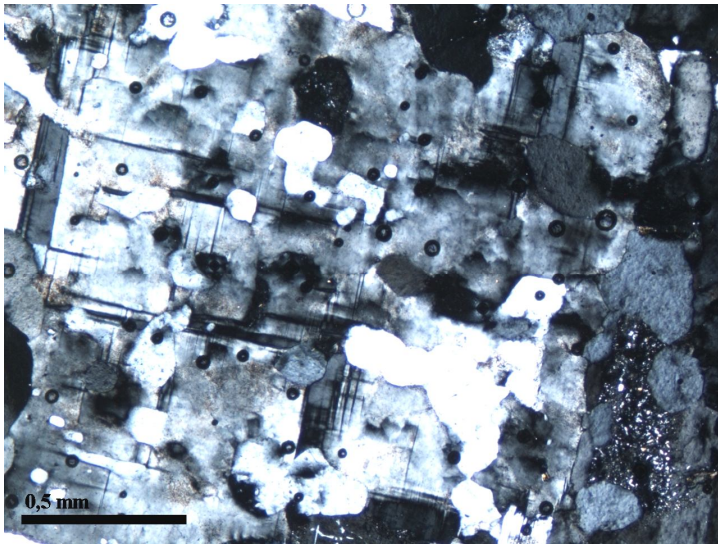


Fig. 4.10 – Microclina com inclusões de quartzo goticular (granito de grão fino, não porfiróide, de duas micas da PMC). Nicóis cruzados.

A plagioclase (oligoclase) tem hábito subeuédrico a anédrico. Pode apresentar zonamento contínuo e/ou oscilatório, mais bem definido nos cristais de maiores dimensões.

O quartzo anédrico, intersticial, apresenta por vezes dimensões um pouco superiores às dos restantes minerais.

A biotite, de hábito subeuédrico a anédrico, apresenta cor entre o amarelo palha e o castanho-escuro. Contém inclusões de zircão e está bastante cloritizada.

A moscovite é anédrica a subeuédrica e com evidências de ser tardia, parecendo ter-se formado à custa de outros minerais, nomeadamente da biotite, feldspato potássico e plagioclase.

A apatite e o zircão estão presentes sob a forma de cristais subeuédricos a euédricos, de hábito prismático, podendo observar-se no caso de ambos os minerais, alguns prismas alongados.

4.1.3 - Rochas Intermédias-Ácidas e Encraves Máficos Microgranulares

As rochas intermédias-ácidas contêm, como o próprio granito porfiróide biotítico, encraves máficos microgranulares, que podem apresentar contactos bruscos ou contactos muito graduais. Em termos texturais e mineralógicos têm bastantes semelhanças. A principal diferença entre as rochas intermédias-ácidas e os encraves máficos reside no tamanho do grão, mais fino nos encraves, e na menor proporção de feldspato potássico nos encraves. Aliás note-se que nas rochas intermédias as proporções de feldspato potássico são também baixas, aumentando à medida que se tornam mais ácidas.

Dadas as semelhanças entre as rochas intermédias-ácidas e os encraves máficos microgranulares, decidimos fazer a sua caracterização petrográfica em simultâneo.

As rochas intermédias-ácidas são granitóides (fundamentalmente granodioritos e monzogranitos) de grão fino a médio (fig. 4.11), holocristalinas, faneríticas, hipidiomórficas, inequigranulares, por vezes com carácter bastante heterogéneo – matriz de grão fino a médio, contendo megacristais de feldspato potássico, plagioclase e quartzo (figs. 4.20 e 4.21). Estas rochas são constituídas por quartzo, feldspato potássico, plagioclase (muitas vezes com mirmequites nos bordos – fig. 4.18), biotite, apatite, zircão e opacos. Como minerais de alteração existem principalmente a sericite, a clorite e em alguns casos epidoto. As amostras colhidas na Pedreira do Monte das Carrascas contêm apenas biotite, mas nas rochas intermédias-ácidas da região de Viseu – Fornos de Algodres (dioritos quartzicos, monzodioritos quartzicos e granodioritos), para além da biotite, existe também anfíbola rica em Mg (Azevedo *et al*, 2005).



Fig. 4.11 – Aspecto microscópico de uma rocha intermédia-ácida da PMC. Nicóis cruzados.

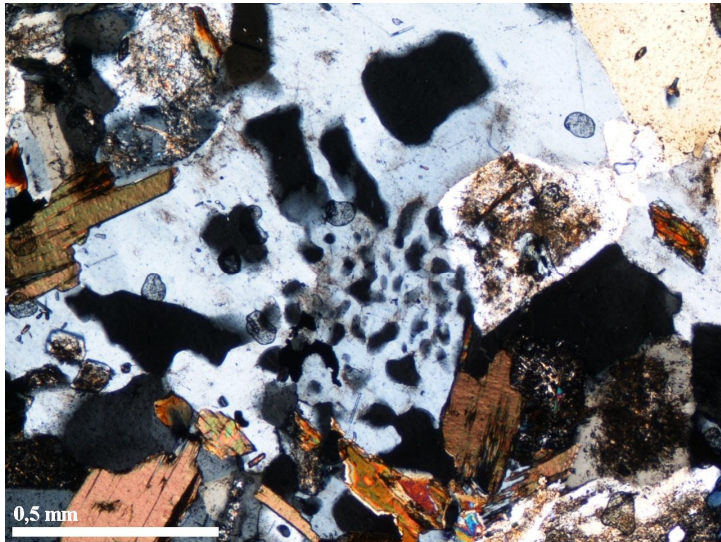


Fig. 4.12 – Textura simplectítica (rocha intermédia-ácida da PMC). Nicóis cruzados.

Os encraves máficos microgranulares (essencialmente granodioritos e mais raramente monzogranitos) são rochas holocristalinas, faneríticas, hipidiomórficas, inequigranulares, apresentando megacristais de quartzo, plagioclase e mais raramente biotite (fig. 4.13). Os encraves máficos são constituídas por quartzo, plagioclase, biotite, apatite, alanite, zircão e opacos. Como minerais de alteração estão presentes a sericite, clorite e epídoto.

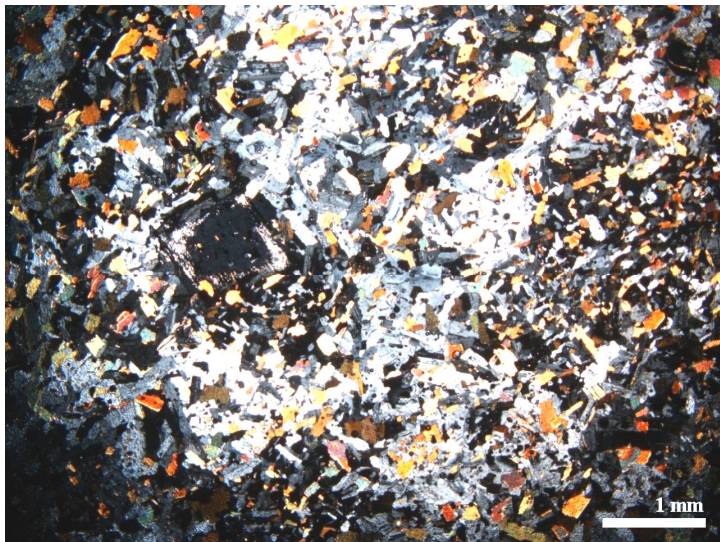


Fig. 4.13 – Aspecto geral dos encraves máficos microgranulares da PMC, sendo visível um microfenocristal de plagioclase zonado. Nicóis cruzados.

Os contactos entre os encraves máficos e os granitóides onde se encontram inseridos podem ser bruscos, marcados por uma orla de reacção muito rica em biotite, enquanto que noutros casos a passagem é gradual, sem orla de reacção biotítica. Geralmente na rocha encaixante, seja ela o granito porfiróide ou as rochas intermédias-ácidas, nota-se uma diminuição do tamanho do grão na zona de contacto (fig. 4.14).

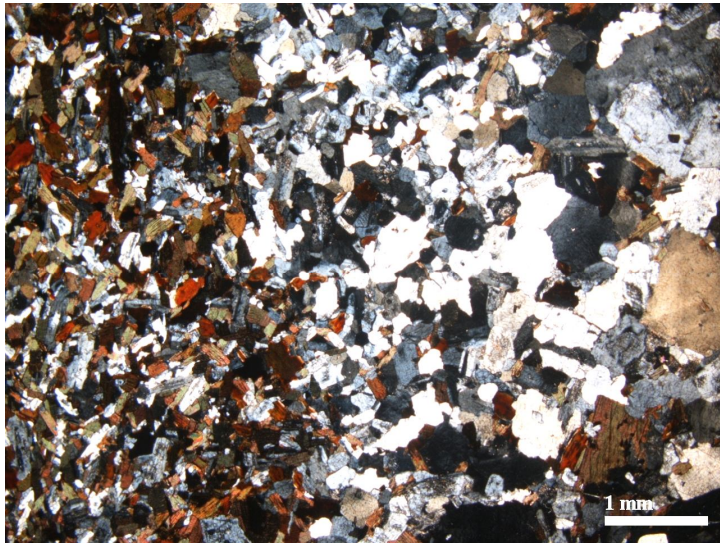


Fig. 4.14 – Aspecto geral do contacto entre um enclave máfico microgranular e uma rocha intermédia-ácida da PMC. Note-se a concentração de biotite e a progressiva diminuição do tamanho do grão no granito na zona de contacto. Nicóis cruzados.

É comum nos encraves e nas rochas intermédias a presença de megacristais de feldspato potássico, total ou parcialmente incluídos na rocha. São também muito comuns, megacristais de plagioclase (fig. 4.19 e 4.20), de biotite e de quartzo (figs. 4.21). Estes megacristais parecem ter sido incorporados na rocha por transferência mecânica, o que nos leva a considerar que não são verdadeiros fenocristais, tratando-se antes de xenocristais, provenientes do granito porfiróide biotítico.

Tanto as rochas intermédias-ácidas, como os encraves máficos microgranulares, contêm moscovite, que tem todas as evidências de ser tardi- pós-magmática, tal como nos granitos porfiróides biotíticos.

4.1.3.1. – Feldspato potássico

O Feldspato K, caracterizando-se por apresentar macla da microclina, ocorre com hábito subeuédrico a anédrico. Por vezes apresenta inclusões de plagioclase, quartzo, moscovite, biotite e opacos. Em algumas amostras existem alguns grãos de maiores dimensões que parecem terem vindo do magma ácido por transferência mecânica. Pode também apresentar intercrescimento com quartzo (textura simplectítica – figura 4.12).

O feldspato potássico pode apresentar inclusões de quartzo, biotite, opacos e plagioclase.

4.1.3.2. – Plagioclase

A plagioclase apresenta hábito subeuédrico, zonamento contínuo, oscilatório e complexo (figs. 4.15, 4.16), estando por vezes bastante sericitizada. As suas dimensões são variáveis e, sobretudo nos encraves máficos é comum ocorrer sob a forma de microfenocristais (fig. 4.13). Contém inclusões de quartzo, por vezes goticular (fig. 4.17), biotite e apatite. Composicionalmente trata-se de oligoclase (~25-29% mol. An), sendo um pouco mais cálcica nos encraves máficos (~27-29% mol. An). Os xenocristais de plagioclase (fig. 4.19, 4.20) apresentam-se quase sempre zonados, e embora o seu hábito seja, euédrico a sub-euédrico, nota-se frequentemente que os bordos estão corroídos pelos cristais da matriz.

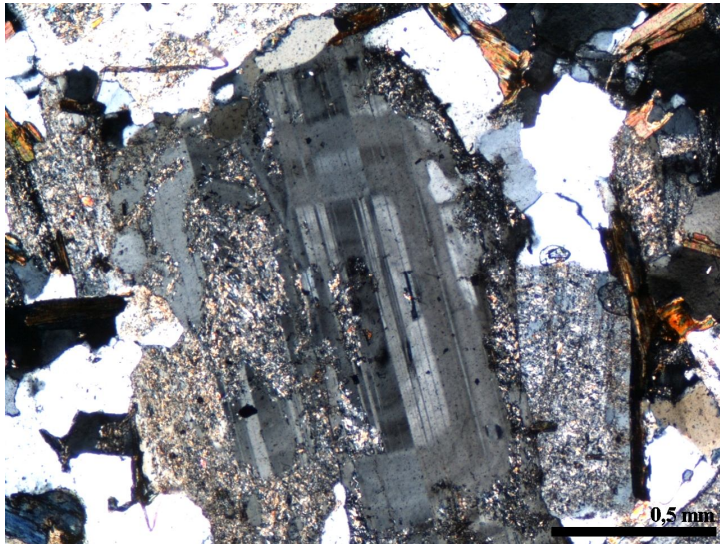


Fig. 4.15 – Plagioclase sericitizada apresentando zonamento complexo (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis cruzados.

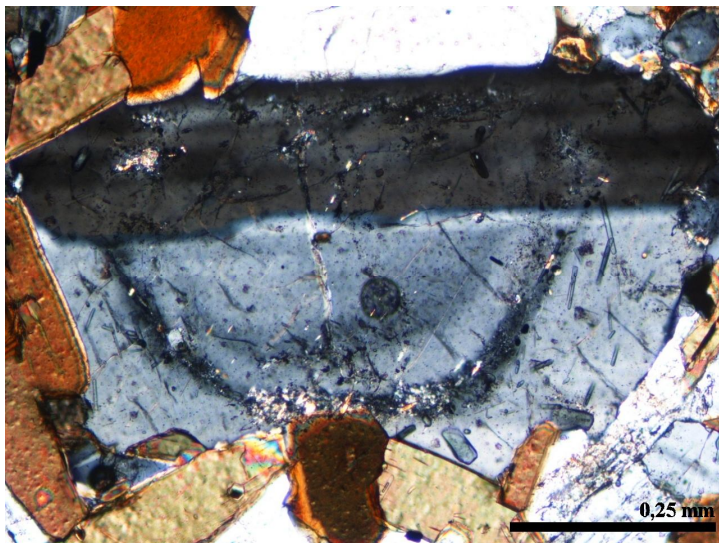


Fig. 4.16 – Plagioclase com zonamento oscilatório, sendo também visível a macla polissintética (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados.

Tanto as rochas intermédias-ácidas, como os encraves máficos microgranulares, contêm moscovite, que tem todas as evidências de ser tardi- pós-magmática, tal como nos granitos porfiróides biotíticos.

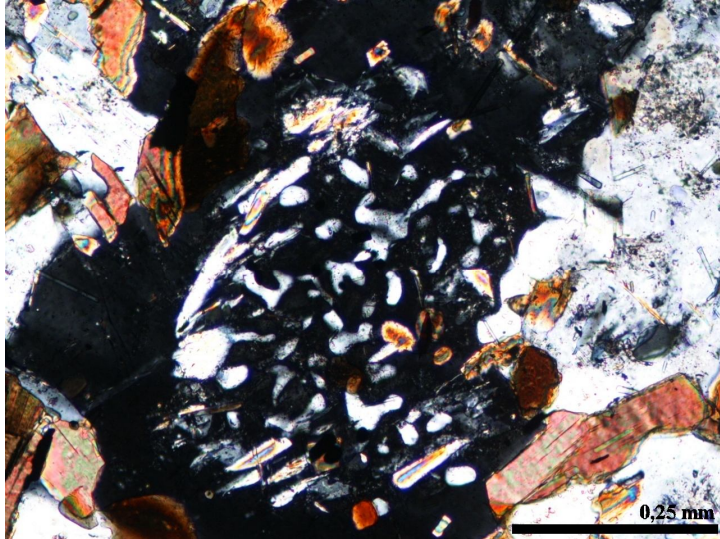


Fig. 4.17 – Quartzo goticular no seio de plagioclase (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados.

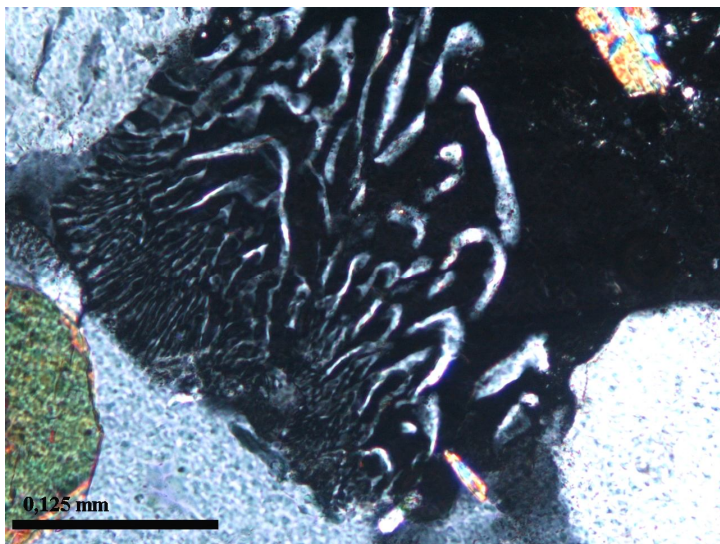


Fig. 4.18 – Mirmequites no bordo de um cristal de plagioclase (rocha intermédia-ácida da PMC). Nicóis cruzados.

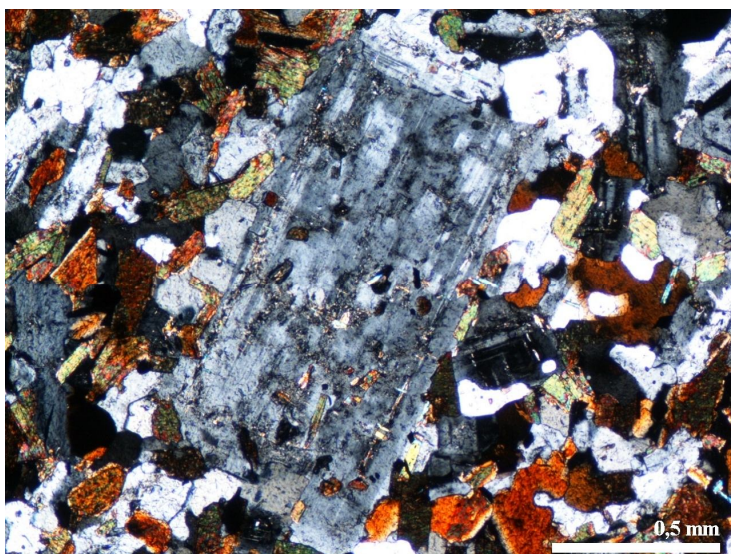


Fig. 4.19 – Megacristal de plagioclase com zonamento, incluída numa matriz de grão fino (encrave máfico microgranular da PMC). Nicóis cruzados.

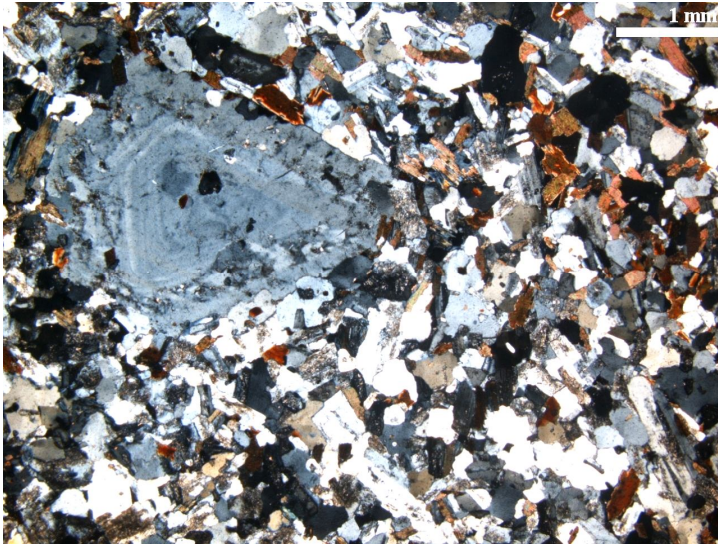


Fig. 4.20 – Megacristal de plagioclase com zonamento oscilatório, incluída numa matriz de grão mais fino (rocha intermédia – ácida da PMC). Nicóis cruzados.

4.1.3.3 – Quartzo

O quartzo ocorre na matriz sob a forma de grãos anédricos, intersticiais. Pode ainda ocorrer, sob a forma de xenocristais, que frequentemente contêm inclusões de biotite e plagioclase e podem apresentar extinção ondulante e subgranulação.

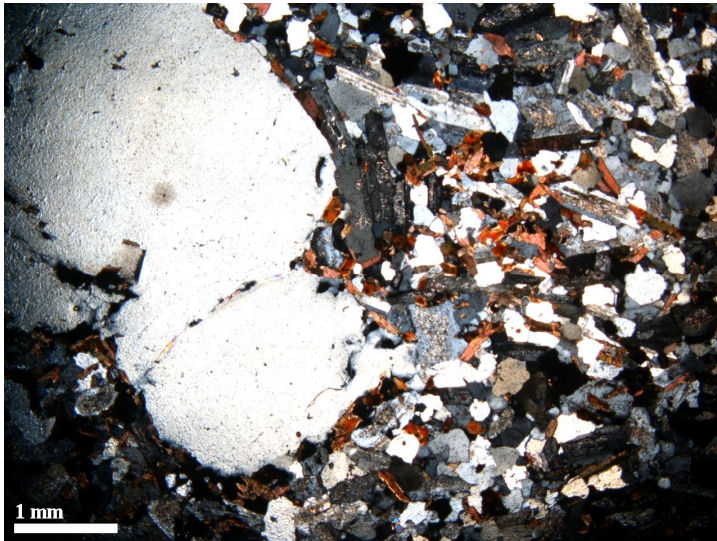


Fig. 4.21 – Xenocristal de quartzo, incluído numa matriz de grão mais fino (rocha intermédia – ácida da PMC). Nicóis cruzados.

4.1.3.4 - Biotite

A biotite ocorre na matriz sob a forma de cristais subeuédricos a anédricos (figs. 4.22 a 4.26), apresentando cor entre o amarelo palha e o castanho-escuro (pleocroísmo). Contém inclusões de zircão, apatite e opacos, e está por vezes cloritizada. Quando incluída

noutros minerais apresenta menores dimensões e um hábito mais anédrico. Por vezes formam-se acumulações biotíticas, tipo *schliren* (fig. 4.23).

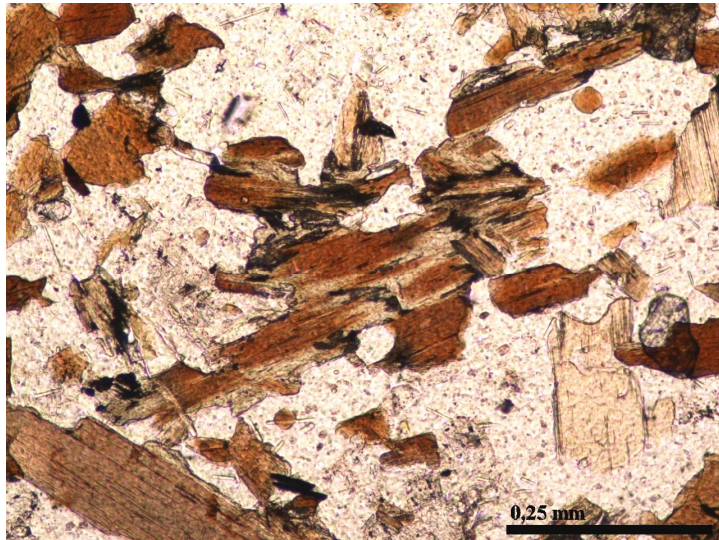


Fig. 4.22 – Aspecto microscópico dos enclaves máficos microgranulares da PMC. Note-se a abundância de biotite. Nicóis paralelos.

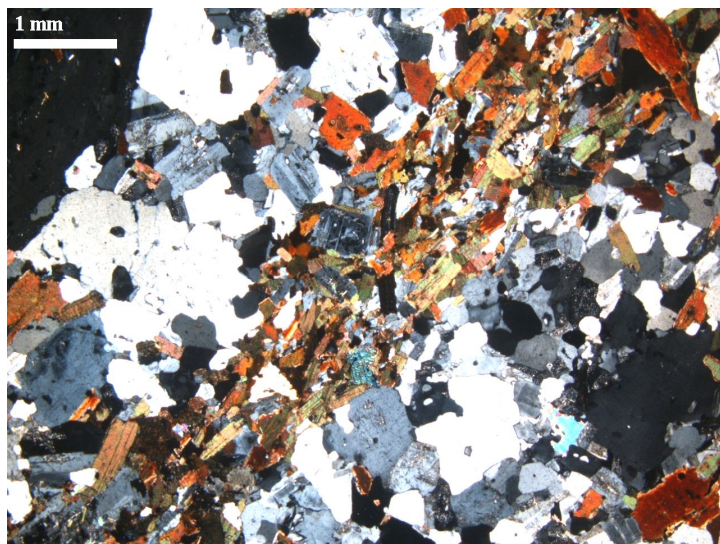


Fig. 4.23 – Schliren biotítico (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis cruzados.

4.1.3.5 – Apatite e Zircão

A apatite (figs. 4.24 a 4.26) é bastante abundante nestas rochas. Apresenta hábito euédrico a anédrico e dimensões variáveis. São muito comuns, sobretudo nos enclaves máficos microgranulares, cristais colunares e aciculares. Ocorre sobretudo associada à biotite, mas também incluída noutros minerais.

O zircão (fig. 4.26) apresenta hábito euédrico a anédrico, ocorrendo sobretudo incluído na biotite, mas também noutros minerais.

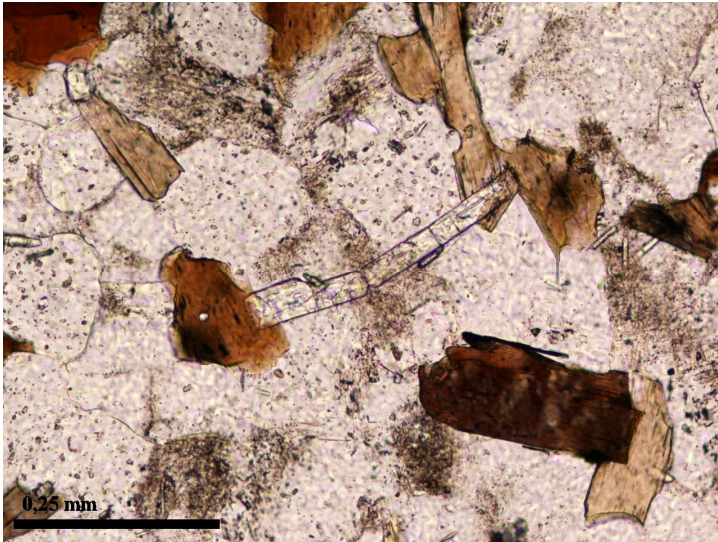


Fig. 4.24 – Cristais de apatite de grandes dimensões e hábito colunar (rochas intermédias-ácidas da PMC). Nicóis paralelos.

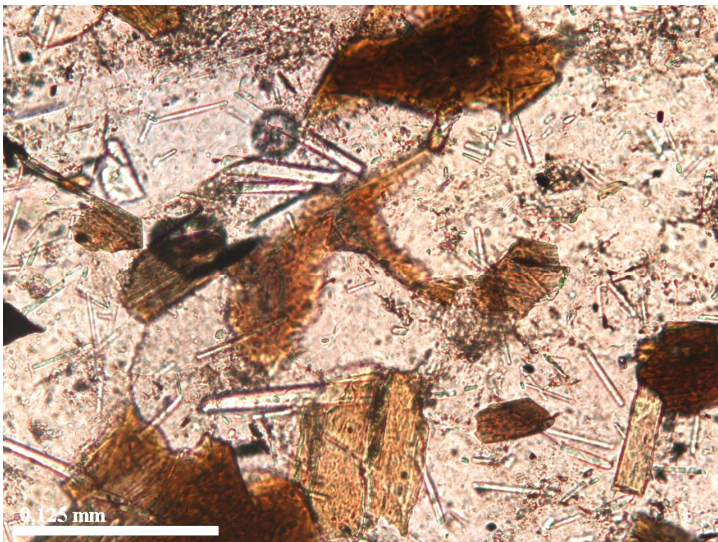


Fig. 4.25 – Apatite acicular (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis paralelos.

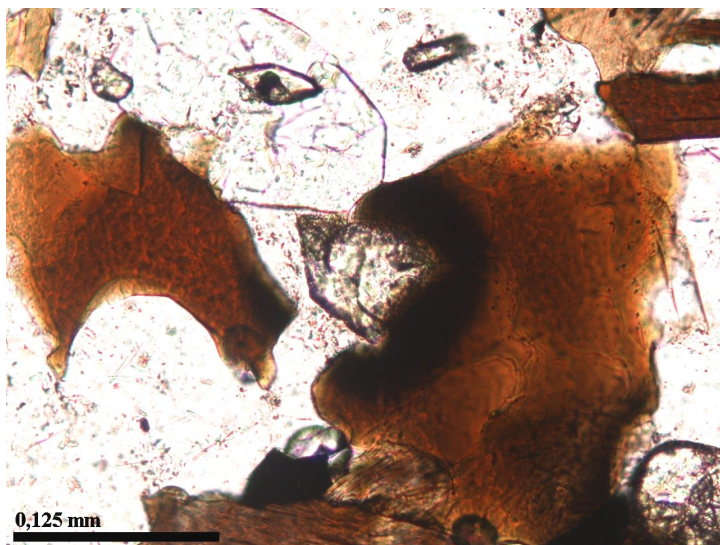


Fig. 4.26 – Zircão incluído em biotite e plagioclase (encraves máficos microgranulares da PMC). Nicóis cruzados.

4.1.4 – Composição Modal e Classificação Petrográfica

A composição modal e o índice de cor (IC) médios das fácies estudadas são apresentados na tabela 4.1. Para classificar as diferentes fácies projectou-se a sua composição modal no diagrama QAP de Streckeisen (1976) (fig. 4.27). Refira-se que a composição modal não foi obtida pelo método clássico de contagem de pontos, que seria bastante difícil de utilizar em amostras de rochas porfiróides e em rochas com uma matriz bastante heterogranular. Para evitar estes problemas, utilizámos um programa (GRANORM - "Norma Granítica"), de Nigel Harris (não publicado), que a partir das análises químicas calcula a composição modal, contemplando no cálculo a existência de fases minerais hidratadas, contrariamente ao que sucede com a norma CIPW. A GRANORM destina-se especificamente a rochas graníticas (*s.l.*). Na sua elaboração é tida em conta a composição química típica das fases mineralógicas presentes nas rochas granitóides. De acordo com o seu autor, o erro da GRANORM em relação à análise modal clássica é geralmente inferior a 3% nos granitos em que o quartzo, plagioclase e feldspato potássico totalizam pelo menos 85% da composição modal. Tal como outros tipos de análises modal (p. ex. a mesonorma), a GRANORM apresenta algumas limitações, e por isso os dados da tabela 4.1 não representam fielmente a verdadeira composição modal das rochas. As principais limitações da GRANORM são: uma ligeira sobrevalorização da plagioclase, dado que no seu cálculo não se tem em conta a albite incluída no feldspato potássico sob a forma de pertites; a moscovite é sobreestimada em detrimento do feldspato potássico, podendo aparecer como mineral normativo, mesmo quando não está presente na rocha.

Tabela 4.1. – Composição modal média e índice de cor das rochas da Pedreira do Monte das Carrascas e de Viseu - Fornos de Algodres.

Rocha	Quartzo	Feldsp.K	Plagioclase	Piroxena	Horneblenda	Biotite	Moscovite	Apatite	Opacos	IC
Pedreira do Monte das Carrascas										
GPB	30,4	19,1	36,0	0,0	0,0	9,8	3,3	0,7	0,8	11
RIA	31,3	12,5	38,8	0,0	0,0	13,5	1,6	0,8	1,5	15
EMM	27,9	3,6	42,3	0,0	0,0	22,0	0,3	1,1	2,8	25
Viseu – Fornos de Algodres										
CPBG	30,3	20,8	35,3	0,0	0,0	10,4	2,0	0,5	0,6	11
RIA	21,0	11,8	44,1	0,0	3,9	16,9	0,1	0,8	1,2	22
EMM	25,3	4,5	43,8	0,1	0,9	22,3	0,1	0,8	2,3	26

GPB – Granito porfiróide biotítico; **CPBG** – Granito porfiróide biotítico de grão grosseiro; **RIA** – Rochas intermédias-ácidas; **EMM** – Encraves máficos microgranulares

Comparando as composições modais e o índice de cor verifica-se uma total semelhança entre os granitos porfiróides biotíticos e os encraves máficos microgranulares da Pedreira do Monte das Carrascas e de Viseu –Fornos de Algodres, respectivamente. As maiores diferenças encontram-se nas rochas intermédias-ácidas, que em média são bastante mais evoluídas na Pedreira do Monte das Carrascas. Esta diferença pode ser real, ou seja, na zona de mistura da pedra os processos de hibridização foi mais eficientes, ou pode dever-se a uma deficiente amostragem.

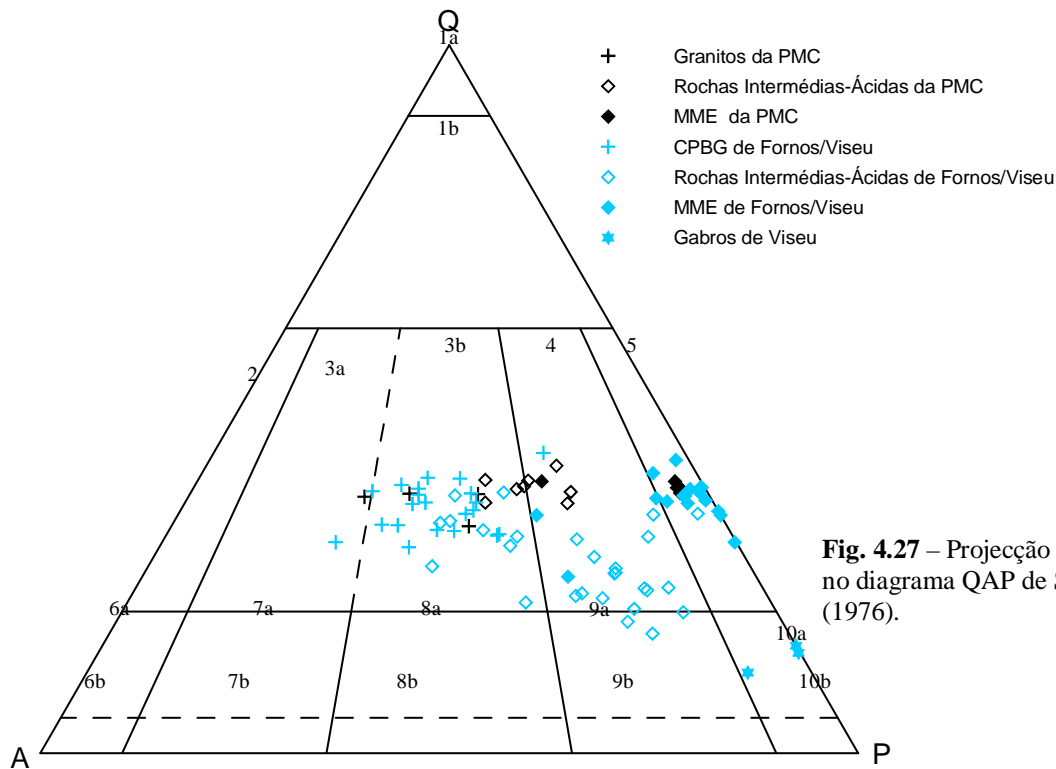


Fig. 4.27 – Projecção de amostras no diagrama QAP de Streckeisen (1976).

Legenda do diagrama QAP de Streckeisen: **1a** – Quartzólitos; **1b** - Granitóides ricos em quartzo; **2** - Granitos com feldspato alcalino; **3** – Granitos (**3a** – Sienogranitos e **3b** – Monzogranitos); **4** - Granodioritos; **5** - Tonalitos; **6** - Sienitos com feldspato alcalino (**6a** - Quartzosienitos e **6b** – Sienitos); **7** – Sienitos (**7a** – Quartzosienitos e **7b** – Sienitos); **8** – Monzonitos (**8a** – Quartzomonzonitos e **8b** – Monzonitos); **9** - Monzodioritos / Monzogabros (**9a** – Quartzomonzodioritos / Quartzomonzogabros e **9b**- Monzodioritos / Monzogabros); **10** - Dioritos / Gabros (**10a** – Quartzodioritos / Quartzogabros e **10b** – Dioritos / Gabros).

Em termos de classificação petrográfica a maioria das amostras dos granitos porfiróides biotíticos de ambas as zonas projecta-se no campo dos monzogranitos. A diferença entre as rochas intermédias-ácidas das duas zonas torna-se bem notória no diagrama QAP: as da Pedreira do Monte das Carrascas projectam-se no campo dos monzogranitos e granodioritos, enquanto as amostras de Viseu – Fornos de Algodres mostra uma maior dispersão, projectando-se essencialmente nos campos dos granodioritos, tonalitos e quartzmonzodioritos, e só algumas, poucas, no campo dos monzogranitos. O aspecto homogéneo da maioria dos encraves máficos, quando observados à escala macroscópica, contrasta com uma grande dispersão em termos de composicionais, em especial os da zona de Viseu – Fornos de Algodres, classificando-se como monzogranitos, granodioritos, tonalitos e quartzmonzodioritos. De realçar que, a dispersão composicional dos encraves pode resultar das diferentes proporções de xenocristais de feldspato potássico, quartzo, plagioclase e biotite presentes, o que evidentemente vai afectar a sua composição química.

4.2. – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Foram analisadas dezassete amostras representativas dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC). Em todas as amostras foram analisados os Elementos Maiores, alguns Elementos Traço e as Terras Raras. Para além destas dezassete amostras, foram utilizados dados referentes a amostras dos granitos porfiróides biotíticos, rochas intermédias-ácidas, gabros e encraves máficos microgranulares da zona de Viseu – Fornos de Algodres. As amostras da zona de Viseu – Fornos de Algodres, tal como já referi no início deste capítulo, foram estudadas por investigadores da Universidade de Aveiro, no âmbito do Projecto PRAXIS 2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) - "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta".

A partir dos dados obtidos far-se-á a caracterização geoquímica das rochas estudadas, procurando-se estabelecer uma relação entre o quimismo e a composição mineralógica e determinar o tipo de processos e fontes envolvidos na génese destas rochas.

4.2.1 - Elementos Maiores e Menores

Nesta secção descreve-se o comportamento e tendências evolutivas dos óxidos de elementos maiores e menores em função da variação de sílica (SiO_2).

4.2.1.1 - Titânio, Ferro e Manganês

Para estes óxidos (fig. 4.28) a distribuição de valores mostra uma correlação negativa com a sílica, definindo uma tendência aproximadamente linear, desde as fácies menos evoluídas até às mais evoluídas, sendo explicada pela sua incorporação nos minerais ferro-magnesianos (anfíbola, biotite) e também na ilmenite, que poderá estar presente nestas rochas. Os encraves máficos microgranulares distribuem-se ao longo desta tendência, sobrepondo-se às das rochas intermédias-ácidas e em parte aos granitos menos evoluídos. Este comportamento poderia ser interpretado como indicativo de uma relação cogenética entre as diferentes fácies, em que os termos mais básicos das rochas intermédias representariam o magma menos evoluído a partir do qual todas as restantes fácies foram

geradas; nesse sentido os encraves máficos poderiam corresponder a autólitos, ou seja, a encraves incorporados e mais ou menos assimilados pelos termos mais félsicos.

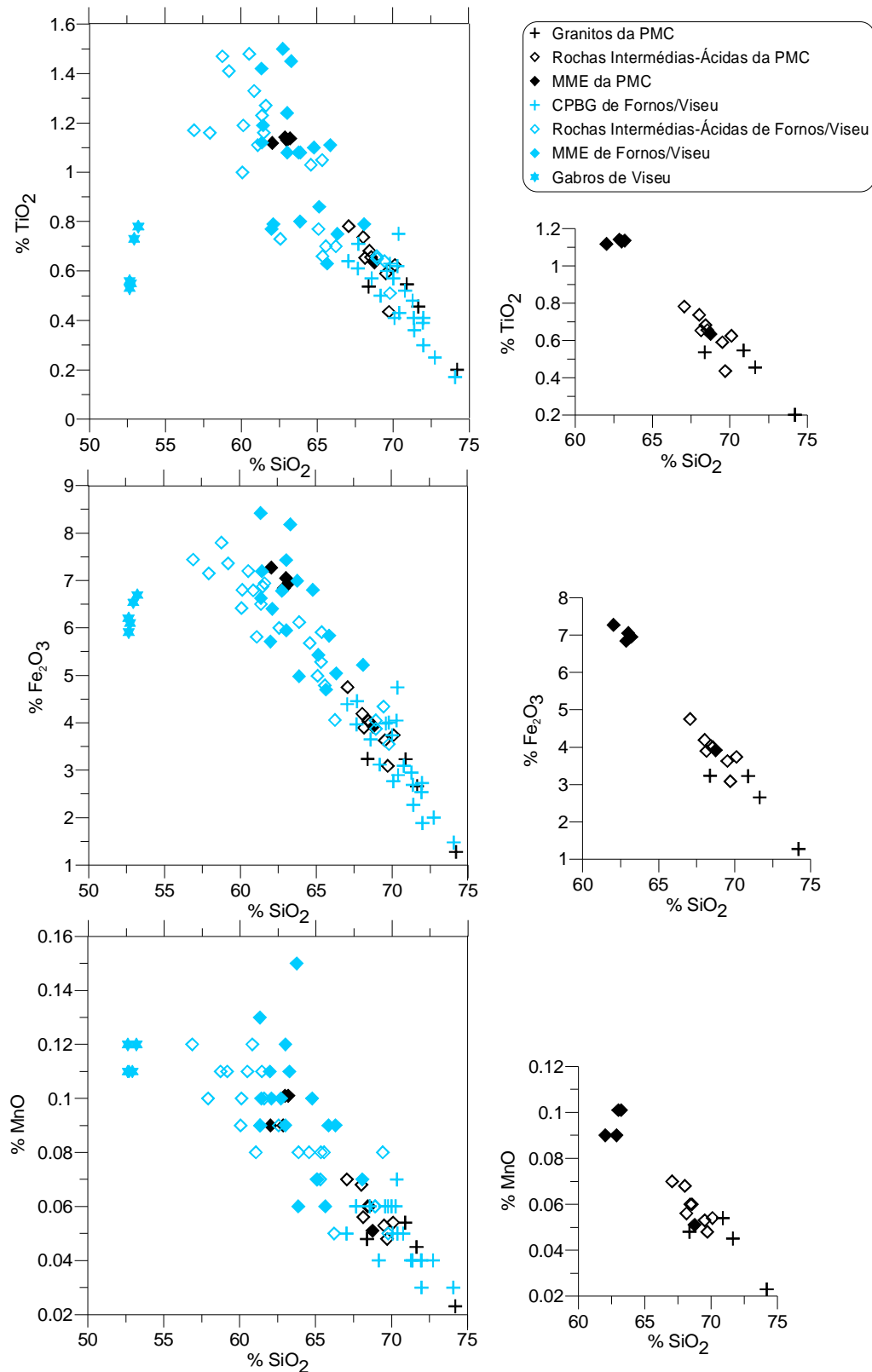


Fig. 4.28 – Diagramas de variação de TiO_2 , Fe_2O_3 total e MnO , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos - Viseu.

Os gabros têm um comportamento distinto. No caso do TiO_2 parecem não fazer parte da tendência antes descrita, sendo o intervalo composicional entre estas rochas e as restantes fácies bastante notório. Já no que respeita ao Fe_2O_3 e MnO o intervalo atenua-se e as amostras dos gabros aproximam-se bastante das restantes amostras, parecendo até definir no conjunto uma certa tendência curvilínea, mais notória no caso do Fe_2O_3 .

4.2.1.2 – Magnésio, Cálcio e Alumínio

Os óxidos destes elementos químicos (fig. 4.29) definem tendências aproximadamente curvilíneas, decrescendo a sua concentração desde os termos menos evoluídos para os mais evoluídos, embora exista um intervalo composicional entre os gabros e as restantes fácies. Tal facto pode ser explicado por uma amostragem deficiente ou por uma ausência efectiva de rochas com composição química correspondente a esse intervalo. O destes óxidos pode ser explicado pela cristalização de minerais ferro-magnesianos (piroxena, anfíbola, biotite) e da plagioclase.

4.2.1.3 - Fósforo

Ao observar o diagrama de variação do fósforo (fig. 4.30), é notório que até cerca dos 60-65% de sílica existe uma correlação positiva, ou seja, o fósforo apresenta um comportamento incompatível, enquanto a partir daquele valor a tendência passa a ser negativa (comportamento compatível). Se tivermos em conta que a solubilidade da apatite em magmas peraluminosos é baixa, esta mudança de comportamento é compreensível. Em magmas mais básicos, metaluminosos, o fósforo comporta-se como um elemento incompatível, passando a comportar-se como compatível a partir dos cerca de 60-65% de sílica, altura em que a apatite começa a cristalizar.

É ainda de realçar o facto de alguns encraves máficos apresentarem concentrações bastante elevadas em P_2O_5 . Tais concentrações são explicáveis pela abundância de apatite nos encraves, como se pode ver nas fotografias de microscópio.

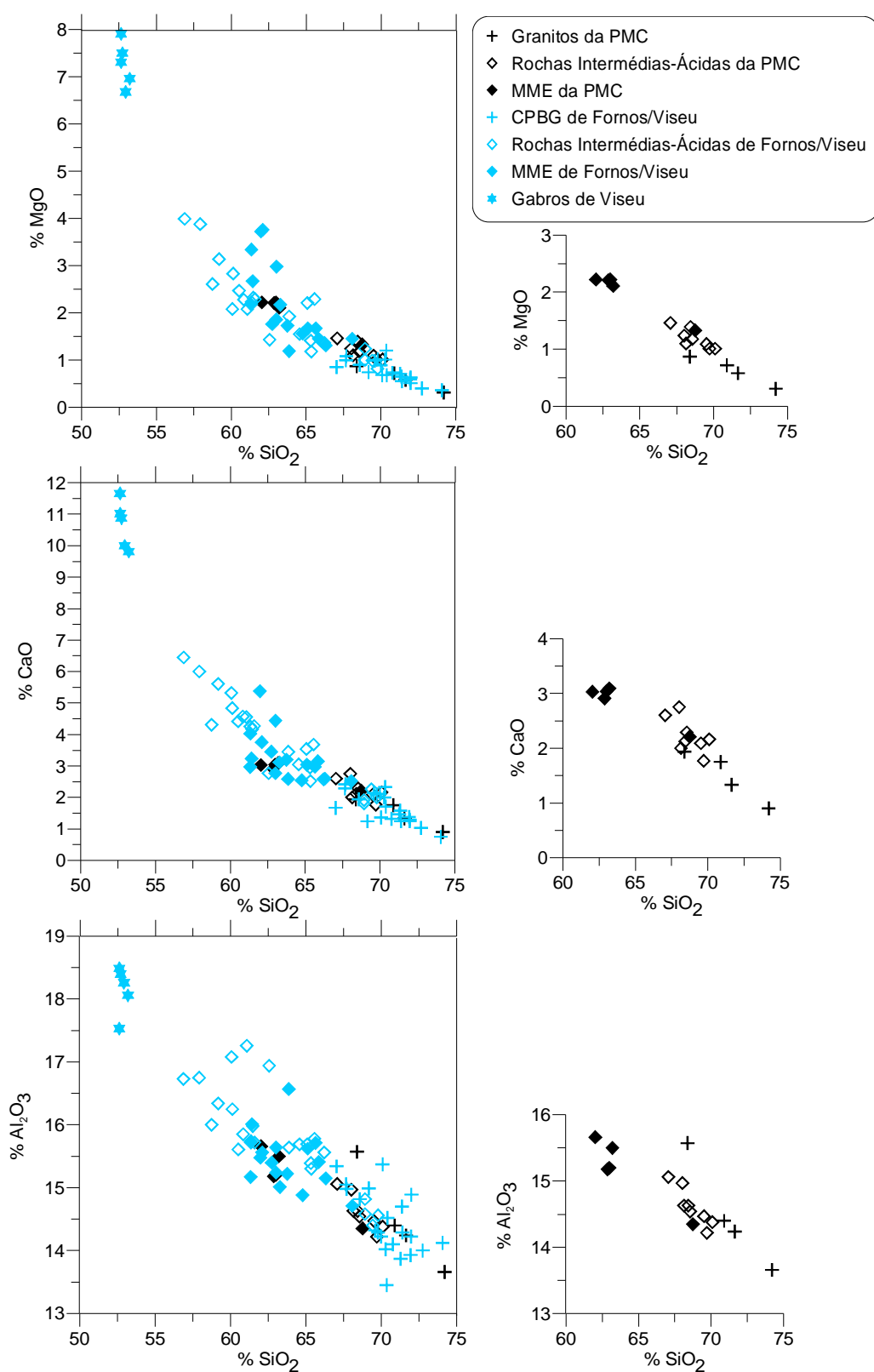


Fig. 4.29 – Diagramas de variação do MgO, CaO e Al_2O_3 , contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.

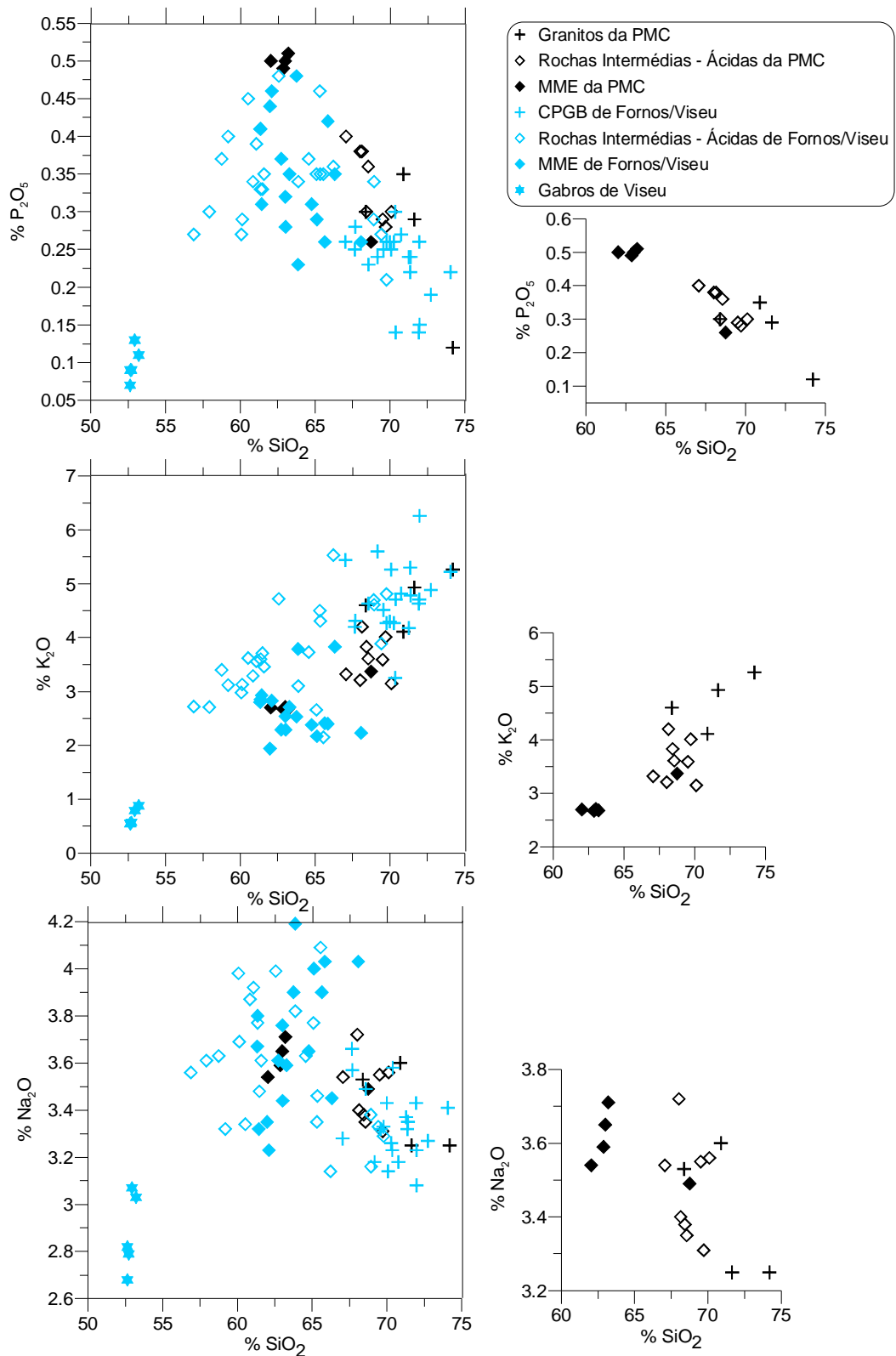


Fig. 4.30 – Diagramas de variação do P₂O₅, K₂O e Na₂O, contra SiO₂, dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.

4.2.1.4 – Sódio e Potássio

Em relação a estes elementos químicos, os gráficos mostram alguma dispersão de valores, principalmente no que respeita ao sódio. Contudo, é visível uma tendência aproximadamente rectilínea positiva para o caso do potássio, o que está de acordo com o esperado. Apesar do K de ser utilizado na formação de biotite, o seu consumo é inferior ao dos restantes elementos, aumentando em proporção no magma com o aumento de sílica e sendo gasto nas últimas fases de cristalização, com a formação de feldspato K e moscovite.

Em relação ao sódio a dispersão é muito elevada, não existindo correlação com a sílica. Esta dispersão de valores (tanto no Na_2O , como no K_2O) é explicável pelo facto de estes elementos químicos serem facilmente mobilizados, sendo assim redistribuídos, principalmente aquando da ocorrência de fenómenos de alteração tardi-magmática.

4.2.2 - Elementos Traço

Com raras excepções, a maioria dos elementos traço não forma minerais próprios, sendo incorporados na estrutura dos minerais essenciais e acessórios, em substituição dos elementos maiores. A capacidade de um dado mineral acomodar um elemento traço na sua estrutura depende de uma série de factores: raio iónico e carga do elemento traço, existência de uma posição estrutural no mineral compatível com as características do elemento, composição, temperatura e fugacidade do oxigénio do magma (Hanson, 1978; Clarke, 1992).

Nesta secção descrevem-se as tendências evolutivas dos elementos traço analisados, tentando ao mesmo tempo explicar o seu comportamento em função dos minerais em cuja estrutura eles podem ser incorporados.

4.2.2.1 - Bário, Rubídio e Estrôncio

O bário, rubídio e estrôncio são elementos traço que fazem parte do grupo denominado de elementos de baixa força de campo (LFSE), também conhecidos como elementos litófilos de grande raio iónico (LILE). Estes elementos, devido ao seu baixo potencial iónico (razão entre a carga e o raio iónico) e às baixas concentrações nos magmas, têm tendência a ser incorporados nos minerais principais.

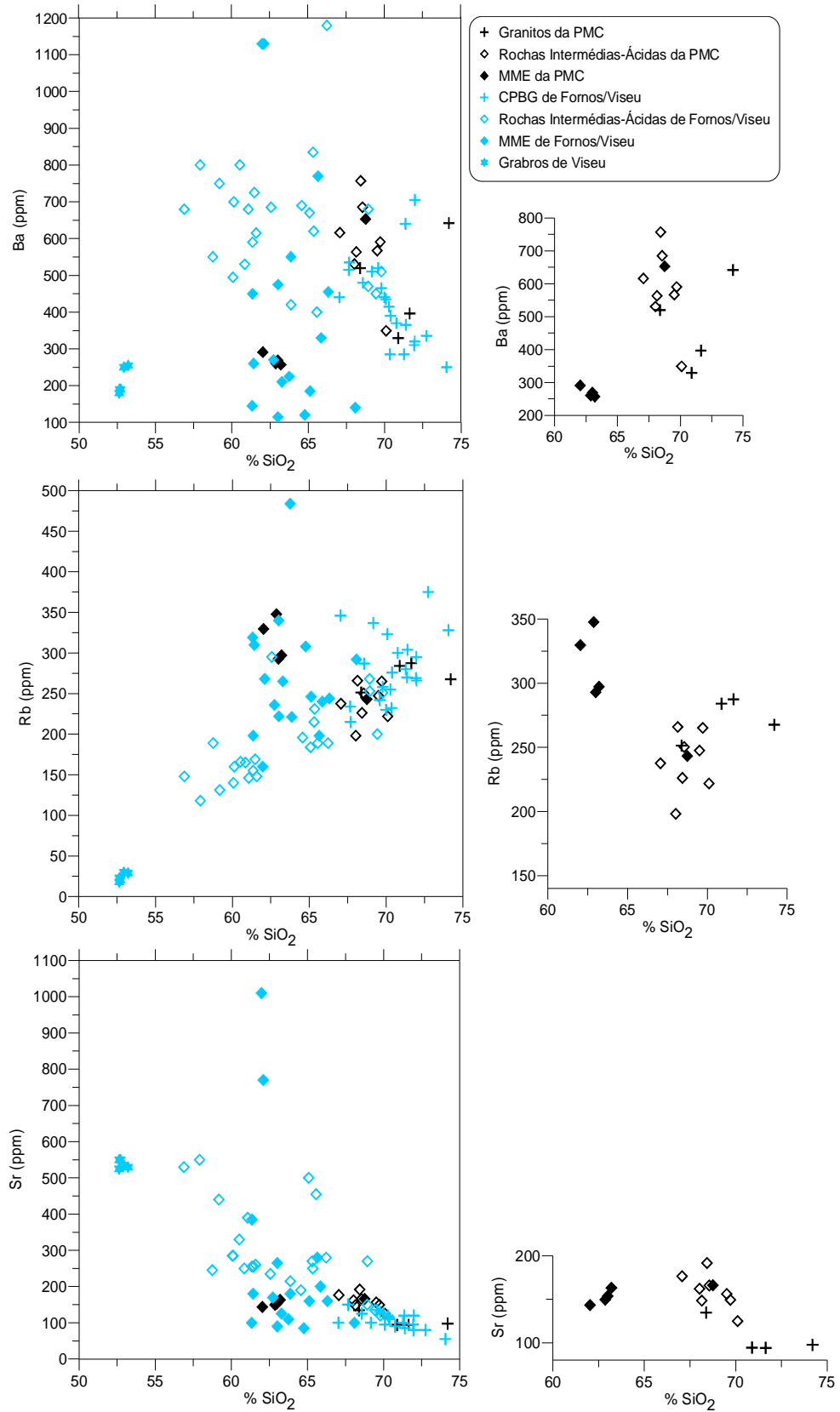


Fig. 4.31 – Diagramas de variação do Ba, Rb e Sr, contra SiO₂, dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrasas (PMC) e de Fornos - Viseu.

Para o bário (fig. 4.31) a dispersão de valores é bastante elevada, não existindo correlação com a sílica. Contudo, se ignorarmos os encraves máficos, onde no geral a concentração de bário é baixa, para as restantes amostras o bário comporta-se como um elemento compatível o que está em concordância com a fraccionação da biotite e feldspato potássico, onde este elemento substitui o K.

O estrôncio (fig. 4.31) tem também um comportamento compatível, bem marcado por um alinhamento curvo. Este comportamento do estrôncio é explicável pela cristalização de apatite e plagioclase, onde o estrôncio substitui o Ca.

Em relação ao rubídio (fig. 4.31) o comportamento é incompatível, tendo tendência a ficar no líquido residual. O seu comportamento é idêntico ao do potássio, o que corrobora a sua tendência para o substituir nos minerais de biotite, moscovite e principalmente no feldspato K. É também notório um forte enriquecimento dos encraves máficos em rubídio, o que se pode explicar pela facilidade com que este elemento se move com os fluidos circulantes, bem como pela transferência mecânica para os encraves de biotite e fenocristais de feldspato K, provenientes dos magmas mais ácidos.

De realçar que, apesar do intervalo composicional já observado em diagramas anteriores, os gabros parecem fazer parte das tendências evolutivas, pelo menos do Sr e do Rb.

4.2.2.2 – Ítrio e Zircónio

O ítrio e o zircónio têm potenciais iónicos elevados, fazem parte dos denominados elementos de grande força de campo (HFSE), elementos que têm potenciais iónicos elevados e que por essa razão têm maior dificuldade em ser incorporados nos minerais principais, sendo constituintes principais de fases minerais acessórias. Como tal, têm maior tendência para se comportar como elementos compatíveis nos magmas ácidos. Nos magmas básicos, pelo contrário, comportam-se geralmente como elementos incompatíveis.

O ítrio, apesar de uma certa dispersão dos valores, mostra uma correlação negativa mais ou menos linear relativamente à sílica, decrescendo desde a fácies intermédias menos evoluídas até às fácies mais evoluídas (granitos). Nos gabros, como seria de esperar a sua concentração é extremamente baixa. Para além do xenótimo, em que é um componente

essencial, a apatite também pode conter quantidades significativas de Y_2O_3 , e dado que não temos evidências petrográficas da presença deste mineral nas rochas em análise, deve ser a apatite a responsável pelo comportamento compatível do Y.

Nas rochas ígneas o zircónio é dos pouco elementos traço que forma um mineral próprio – o zircão. O seu comportamento nas fácies analisadas é distinto do ítrio, já que forma uma tendência curvilínea, começando por apresentar um comportamento incompatível nas fácies menos evoluídas, e passando a partir dos 60-65% de SiO_2 a ter um comportamento compatível, ou seja, tendo um comportamento semelhante ao do fósforo.

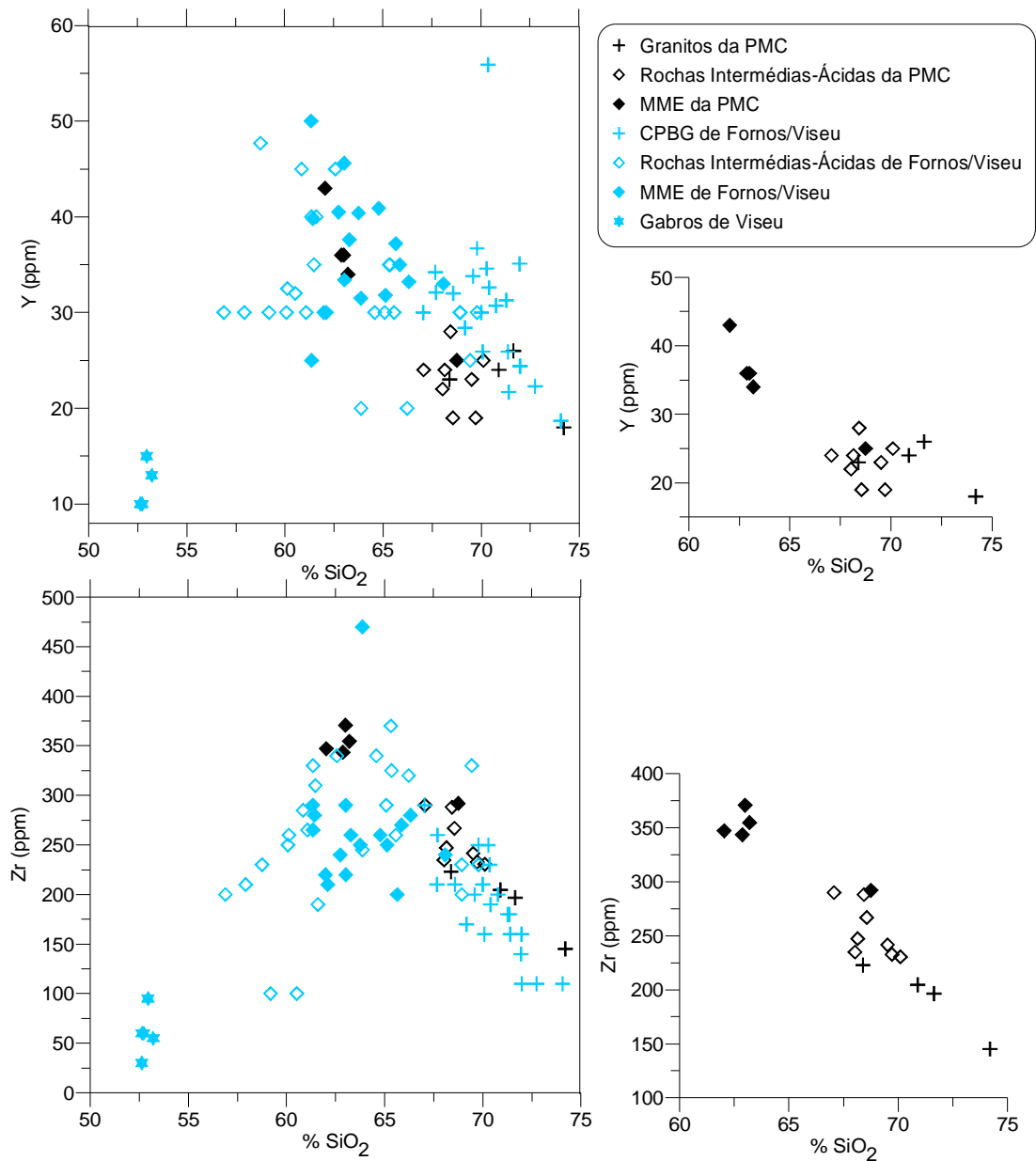


Fig. 4.32 – Diagramas de variação do Y e Zr, contra SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos -Viseu.

4.2.3 – Terras Raras

Embora as Terras Raras sejam elementos traço, o seu comportamento tem características intermédias entre os elementos LILE e os elementos HFSE, pelo que são aqui consideradas separadamente. O comportamento das Terras Raras nos magmas é controlado maioritariamente pelas fases minerais acessórias (tabela 4.2).

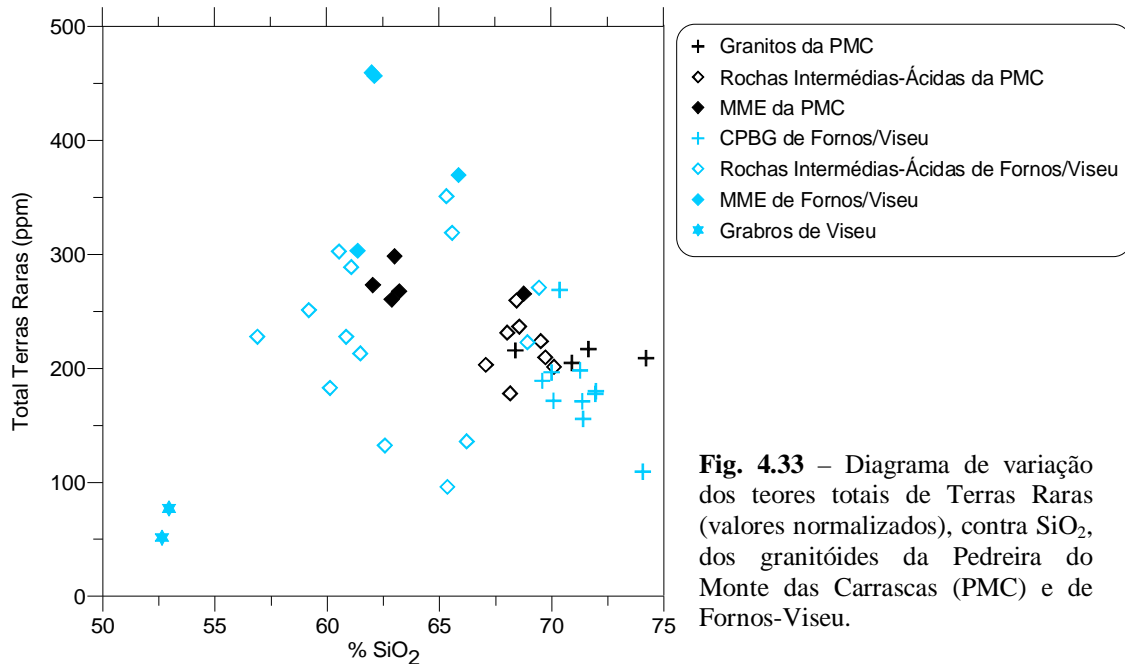
Tabela 4.2. – Comportamento das Terras Raras nos magmas.

MINERAL	TR Leves	TR Intermédias	TR Pesadas	Európio
Plagioclase				++
Feldspato K				+
Anfíbola			+	-
Piroxena			+	-
Granada			++	-
Esfena	+	++	++	
Apatite	+	++		
Alanite	++			
Monazite	++			
Zircão			++	
Xenótimo			++	

De um modo geral, nos magmas básicos as Terras Raras apresentam concentrações muito baixas e um comportamento incompatível, ou seja, acumulam-se no líquido. Em relação aos magmas peraluminosos e magmas ácidos em geral, as Terras Raras apresentam um comportamento compatível. A exceção é o európio, que apresenta sempre um comportamento compatível, entrando na plagioclase em substituição do cálcio, originando-se magmas residuais pobres em európio. Deste modo, as rochas básicas ou não apresentam anomalia ou então poderão apresentar anomalia positiva ou fracamente negativa em európio. À medida que os magmas são mais evoluídos, a anomalia de Európio torna-se cada vez mais negativa.

As TR apresentam um comportamento distinto à medida que os magmas vão ficando mais ricos em sílica. Até cerca de 60 a 65% de SiO₂ as TR têm um comportamento incompatível, sendo que a partir destes valores começam a comportar-se compativelmente,

entrando na constituição química de fases minerais acessórias como a apatite, alanite, monazite, zircão, xenótimio e granada.



Na figura 4.33 apresenta-se a distribuição das amostras tendo em atenção o total de Terras Raras em função da percentagem de SiO₂. Embora exista uma grande dispersão dos valores, são notórias as baixas concentrações nos gabros e em muitas das amostras de rochas intermédias-ácidas. Os encraves máficos apresentam, pelo contrário, valores médios a elevados de erras Raras, o que se pode explicar pela elevada quantidade de apatite presente nestas amostras.

Tabela 4.3. – Valores máximos, mínimos e médios das razões La_N/Yb_N, Ce_N/Sm_N, Gd_N/Yb_N e Eu/Eu*.

Rochas	La _N /Yb _N		Ce _N /Sm _N		Gd _N /Yb _N		Eu/Eu*	
	Max-Min	Méd	Max-Min	Méd	Max-Min	Méd	Max-Min	Méd
Granitos	5,98-18,54	10,84	2,39-3,32	2,64	1,30-2,56	2,09	0,25-0,49	0,38
Inter-Ácid.	3,74-23,39	13,04	1,30-3,41	2,73	1,77-3,34	2,34	0,42-0,93	0,55
EMM	9,36-24,74	16,04	2,55-3,33	2,92	1,98-2,99	2,51	0,33-0,79	0,44
Gabros	5,11-6,48	5,80	2,02-2,32	2,17	1,61-1,69	1,65	0,99-1,03	1,01

Na tabela 4.3 apresentam-se os valores mínimos, máximos e a média das razões La_N/Yb_N, Ce_N/Sm_N, Gd_N/Yb_N e Eu/Eu* e nas figuras 4.34 a 4.37 os padrões de Terras

Raras, normalizados em relação aos condritos (factores de normalização segundo Taylor & McLennan, 1985).

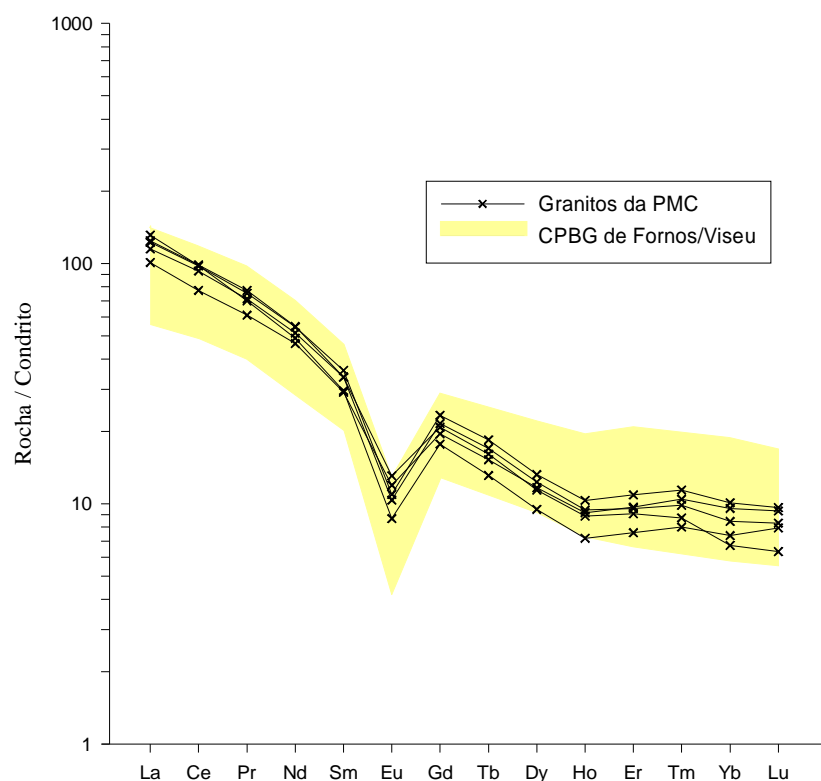


Fig. 4.34 – Padrões de Terras Raras dos granitos porfíridos biotíticos, da PMC e Fornos-Visou.

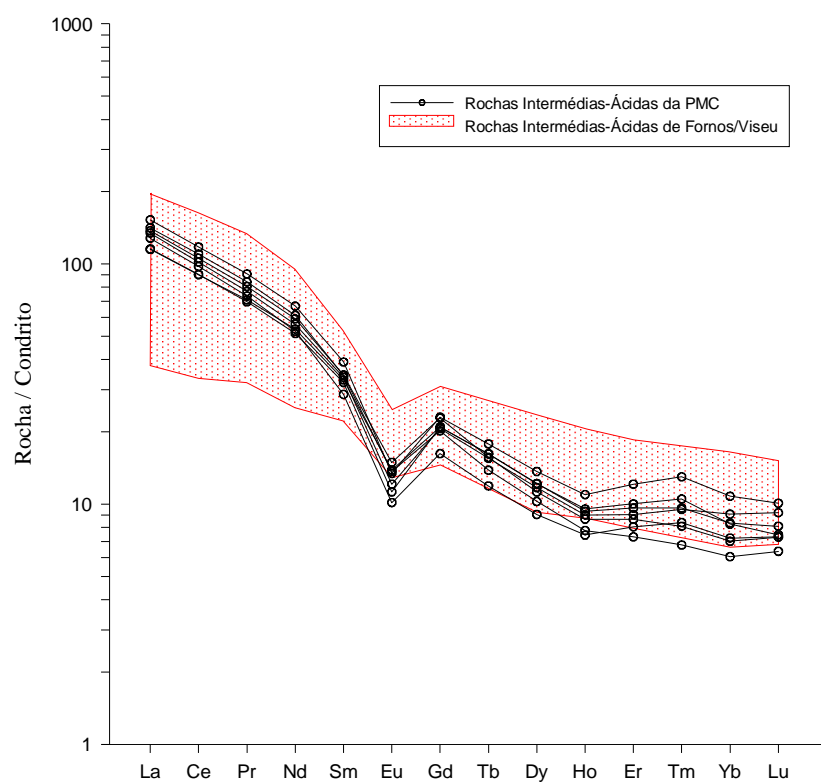


Fig. 4.35 – Padrões de Terras Raras para as rochas intermédias-ácidas, da PMC e Fornos-Visou.

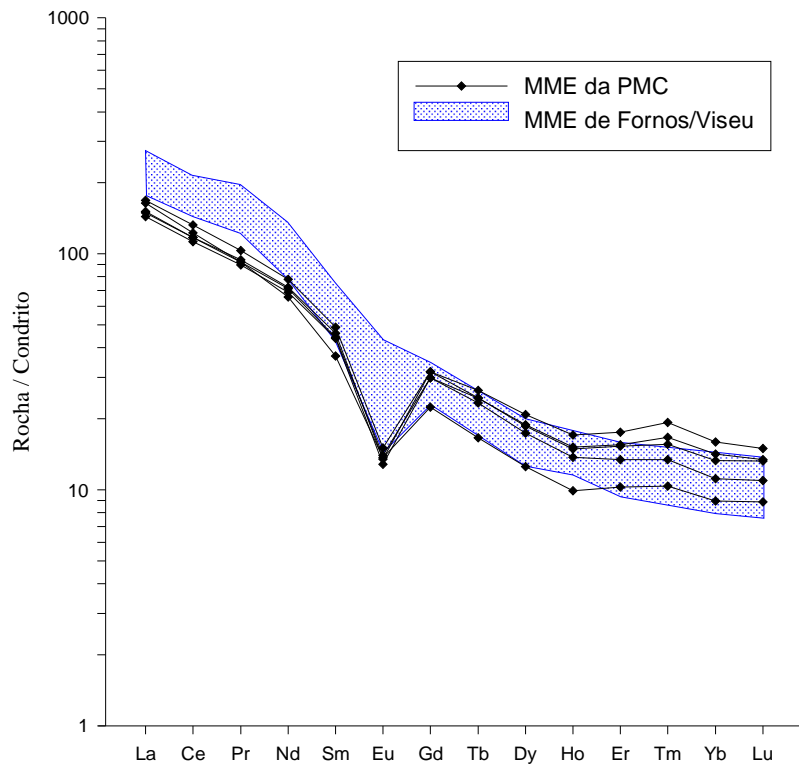


Fig. 4.36 – Padrões de Terras Raras para os encraves máficos microgranulares, da PMC e Fornos-Viseu.

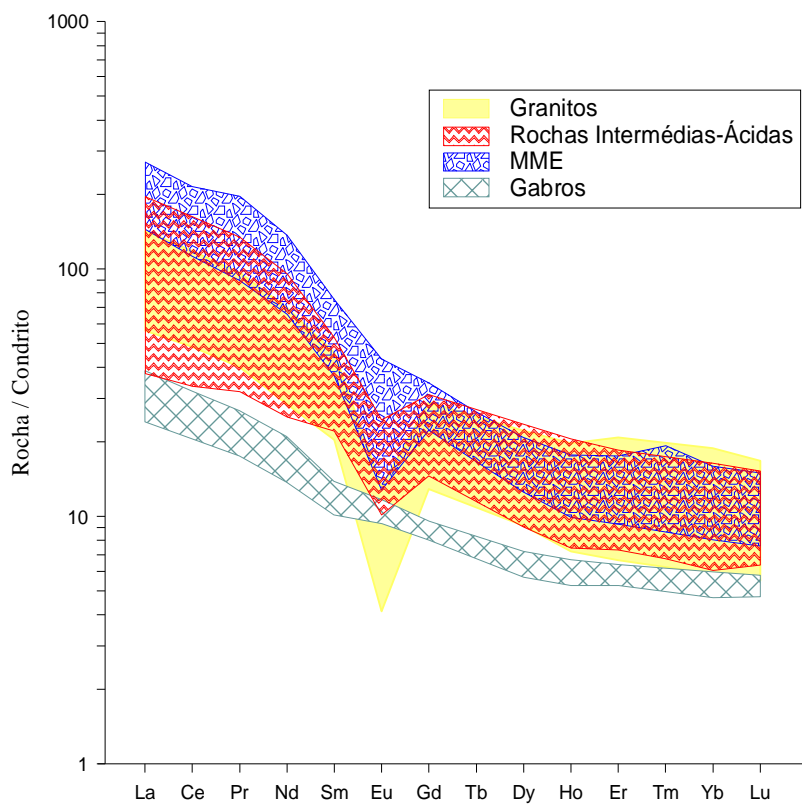


Fig. 4.37 – Padrões de Terras Raras (valores normalizados) para os vários grupos de rochas, quer da PMC, quer de Fornos-Viseu.

Os padrões normalizados dos granitos porfiróides biotíticos das duas áreas aqui consideradas mostram são semelhantes, distinguindo-se pelo seu maior enriquecimento em TR leves (La_N/Yb_N), fraccionamento acentuado das TR leves (Ce_N/Sm_N) e fraco das TR pesadas (Gd_N/Yb_N) e por uma anomalia de Eu (Eu/Eu^*) acentuada. Os padrões das rochas intermédias-ácidas são semelhantes aos anteriores, embora a anomalia de európio, como seria de esperar seja menor, sobretudo nas amostras de Viseu – Fornos de Algodres, que como já vimos anteriormente são, em média, menos evoluídas do que as da Pedreira do Monte das Carrascas.

Os encaves máficos microgranulares (MME) distinguem-se das restantes fácies pelo seu enriquecimento em TR leves (La_N/Yb_N) e fraccionamento mais acentuado em TR leves. Em relação ao európio a anomalia negativa é fraca a moderada.

Como seria de esperar, os gabros apresentam um padrão completamente distinto das fácies anteriores: são pobres em TR e mostram um enriquecimento e fraccionamento muito pouco acentuado, tanto em TR leves como pesadas. Praticamente não apresentam anomalia de európio, o que se pode explicar pelo fraccionamento de plagioclase cálcica, que incorpora o európio, deixando o líquido residual empobrecido em európio.

O fraccionamento em TR leves poderá ser explicado principalmente pela cristalização de monazite, embora também não se deva desprezar a apatite. Apesar de, durante o estudo petrográfico, não ter sido identificada de monazite nas amostras da Pedreira do Monte das Carrascas, não se pode afirmar que ela não exista, visto que é facilmente confundida com zircão. Aliás este mineral está presente nas rochas de Viseu - Fornos de Algodres (Azevedo, 1996; Azevedo & Nolan, 1998; Azevedo *et al*, 2005). Embora a apatite incorpore preferencialmente TR intermédias, poderá também ser um dos minerais que controla o fraccionamento das TR leves. Dos minerais identificados nas amostras, só o zircão poderá incorporas TR pesadas.

4.2.4 - Diagramas de Classificação Química

4.2.4.1 – Aluminosidade

O grau de peraluminosidade, expresso pela razão A/CNK , é um dos critérios mais importantes descritos por Chappell e White (1974) e White e Chappell (1977), no que

respeita ao tipo de fontes envolvidas na génese dos magmas. A utilização deste critério tem por base a ideia de que as características da fonte são transmitidas intactas aos magmas delas resultantes. No entanto, este pressuposto é bastante simplista e não tem em conta a complexidade dos processos envolvidos na génese e evolução das rochas ígneas (Martins, 1997). Apesar das devidas reservas, é possível retirar alguma informação a partir do grau de aluminosidade dos granitóides e da forma como a razão A/CNK evolui com a diferenciação magmática.

No diagrama da figura 4.38 pode observar-se a variação da razão A/CNK vs SiO_2 , das amostras. Neste diagrama observa-se uma tendência bem marcada de aumento da razão A/CNK, desde as rochas mais básicas (gabros), metaluminosas, para as rochas mais ácidas (granitos), fracamente peraluminosas, estando as rochas intermédias-ácidas e os encraves máficos distribuídos pelos dois campos. Esta tendência de variação é semelhante à dos granitos tipo-I (Chappell e White, 1974; White e Chappell, 1977).

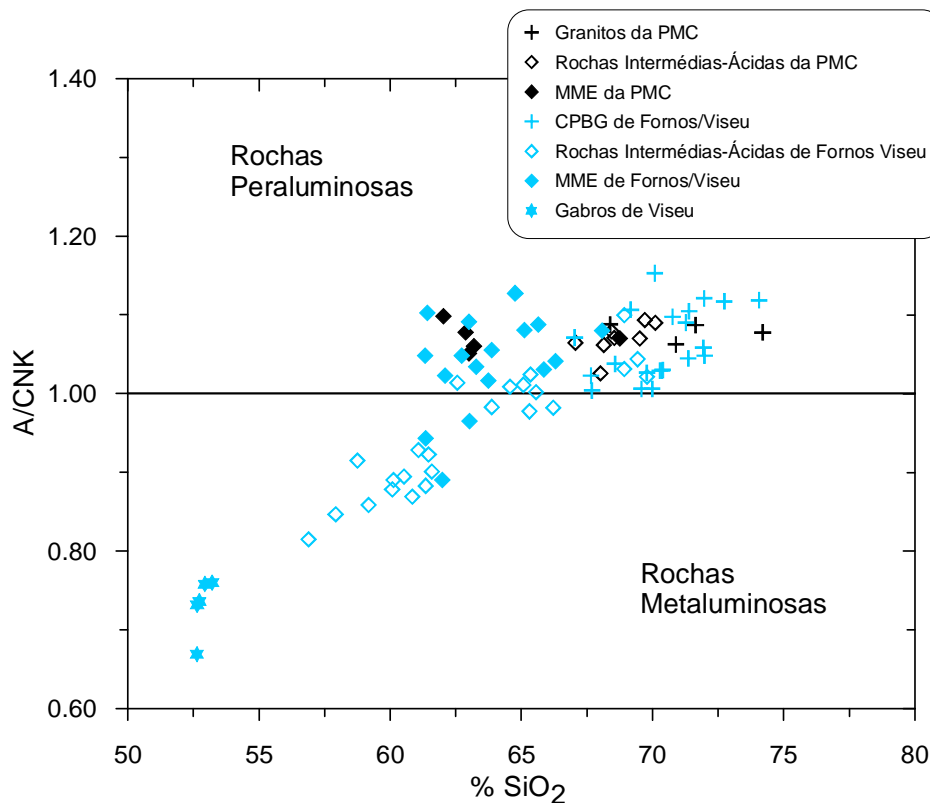


Fig. 4.38 – Diagrama de variação da razão A/CNK vs SiO_2 , dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos-Viseu.

O grau de aluminosidade pode também ser estudado através do diagrama A-B de Debon e LeFort (1983), que mostra ainda as paragéneses minerais características das rochas peraluminosas (minerais ricos em Al e pobres em Ca) e das rochas metaluminosas (minerais pobres em Al e frequentemente ricos em Ca).

Da análise do diagrama A-B de Debon e LeFort (fig. 4.39) podemos verificar que existe um aumento da peraluminosidade à medida que a concentração de minerais máficos vai diminuindo. Tal como verificado no caso do diagrama A/CNK, existe uma tendência de evolução das rochas mais máficas, metaluminosas, para as rochas mais ácidas, fracamente peraluminosas. De notar que os granitos se situam maioritariamente no campo da “Biotite” e mais raramente no campo de “Biotite>Moscovite”, o que está de acordo com a sua caracterização petrográfica.

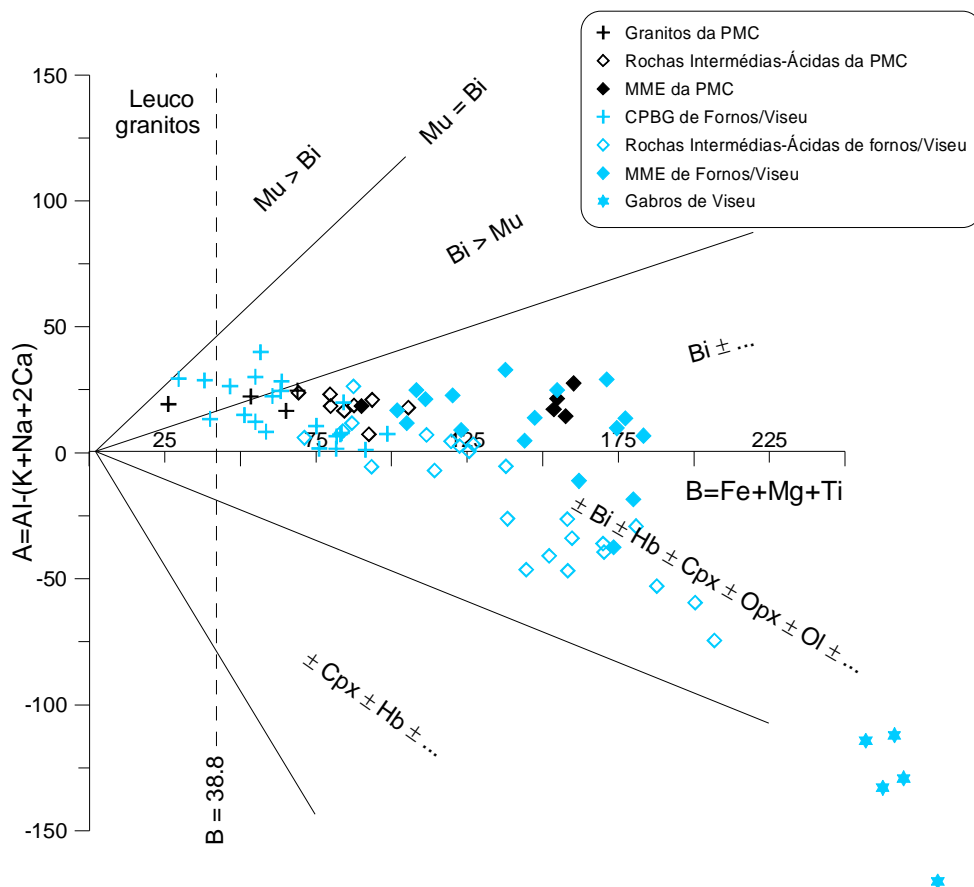


Fig. 4.39 – Projecção de amostras no diagrama A-B de Debon e LeFort (1983), dos granitóides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos-Viseu.

4.2.4.2 – Classificação Química

Existem vários diagramas de classificação química de rochas ígneas. Um dos mais utilizados é o diagrama R1-R2 de La Roche (1980). Tal como no caso do programa “Granorm”, que utilizámos para a classificação modal das amostras, o diagrama R1-R2 baseia-se na composição química das rochas.

Projectando as amostras no diagrama R1-R2 (fig. 4.40) verifica-se que as diferenças entre os dois tipos de classificações não são significativas. Assim, podemos verificar que as rochas mais ácidas se projectam maioritariamente no campo dos monzogranitos, apesar de algumas amostras (poucas) caírem no campo dos granodioritos e sienogranitos. As rochas intermédias – ácidas apresentam-se mais dispersas, contudo concentram-se principalmente no campo dos granodioritos e dos monzodioritos. As rochas de características mais básicas projectam-se no campo dos grabronoritos, enquanto que os encraves máficos se encontram dispersos entre os campos dos granodioritos e dos tonalitos.

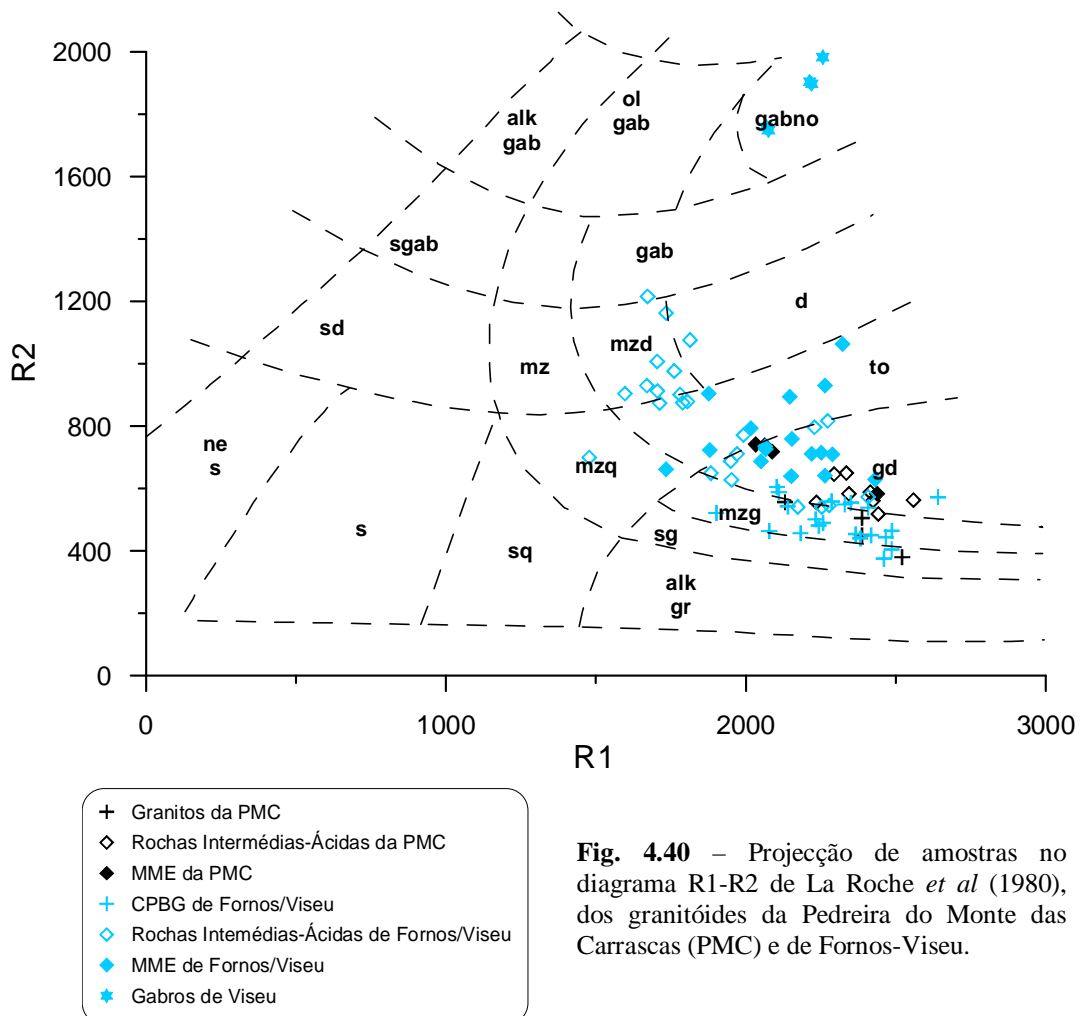


Fig. 4.40 – Projecção de amostras no diagrama R1-R2 de La Roche *et al* (1980), dos granitoides da Pedreira do Monte das Carrascas (PMC) e de Fornos-Viseu.

4.3. – CONCLUSÃO

Os diagramas de variação dos óxidos e dos elementos traço permitem verificar se existem relações cogenéticas entre um grupo de rochas ígneas espacialmente associadas e ao mesmo tempo definir as tendências evolutivas dessas rochas e identificar as fases minerais responsáveis por essa evolução. As associações magmáticas provenientes da fusão parcial de uma mesma fonte e relacionadas entre si por processos de diferenciação tendem a dispor-se ao longo de uma linha evolutiva comum em todos os diagramas. Assim, a existência de tendências evolutivas lineares e curvilíneas e as próprias lacunas composicionais, nos diagramas de variação precedentes, parecem indicar que existe uma relação entre os diferentes tipos de rochas, incluindo os gabros.

Os granitos e rochas intermédias-ácidas de ambas as áreas aqui consideradas, Pedreira do Monte das Carrascas e Viseu – Fornos de Algodres, definem em todos os diagramas de variação uma tendência comum, o que parece indicar que a sua fonte é a mesma e estão relacionados entre si por processos de diferenciação magmática. Nestas rochas observa-se um decréscimo regular de Fe_2O_3 total, MgO , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 e MnO , desde os termos menos evoluídos até aos mais evoluídos, acompanhado pelo aumento paralelo de SiO_2 e K_2O . A evolução química observada é acompanhada pelo decréscimo das proporções modais hornblenda, biotite e plagioclase cálcica e pelo aumento do feldspato potássico e quartzo modal. A variação das concentrações daqueles óxidos pode então ser interpretada em termos de um processo de cristalização fraccionada, envolvendo a separação precoce de ilmenite, apatite, anfíbola, biotite e plagioclase, seguida do fraccionamento de feldspato potássico e do quartzo. Os estádios finais da cristalização seriam marcados alteração dos minerais magmáticos (sericitização da plagioclase, cloritização da biotite, etc.), por acção de fluídos residuais, o que teria contribuído para a maior dispersão observada nos diagramas de variação do K_2O e sobretudo do Na_2O .

No entanto, um simples processo de cristalização fraccionada não é suficiente para explicar todas as características macroscópicas e microscópicas observadas nestas rochas.

Para intervalos de variação do SiO_2 alargados, como é o caso, as tendências lineares são geralmente interpretadas como indicativas de processos de mistura, enquanto as tendências curvilíneas indicam a existência de processos de cristalização fraccionada. Ora

nos diagramas de variação de elementos maiores, menores e traço podem observar-se os dois tipos de tendências.

Por outro lado, há que ter em conta as relações de campo entre os granitos, as rochas intermédias-ácidas e os encaves máficos microgranulares, que por si só evidenciam a existência de um processo de mistura entre magmas de composição distinta.

As evidências de campo, petrográficas e geoquímicas indicam que os granitóides estudados terão sido gerados a partir de fontes mistas e evoluído num sistema aberto. A intrusão na base da crosta de magmas de origem mantélica forneceria o calor necessário para induzir a fusão parcial por desidratação de protólitos metassedimentares da crosta inferior, com composições similares à dos metassedimentos do Precâmbrico/Paleozóico que afloram actualmente na Zona Centro-Ibérica. A interacção entre os magmas crustais e os magmas de origem mantélica, através de processos de mistura mecânica e hibridização, daria origem a magmas de características híbridas. Durante a ascensão, a evolução magmática e a produção de magmas cada vez mais diferenciados seria controlada por processos de cristalização fraccionada e de assimilação crustal (Azevedo, 1996; Azevedo *et al.*, 2005).

Embora pelas suas características mineralógicas e químicas, os gabros de Viseu pareçam já ter sofrido alguma contaminação crustal, eles poderão representar o pólo básico do processo de mistura. As rochas intermédias – ácidas seriam então resultantes de um processo combinado de mistura entre um magma básico de origem mantélica e um magma ácido de origem crustal, seguido de cristalização fraccionada e assimilação. Os encaves máficos representariam glóbulos do magma máfico, incluídos, mas não totalmente assimilados pelo magma ácido. Se o processo de mistura ocorreu num único estágio ou se houve repetidas injeções de magmas mantélicos em diferentes estados evolutivos é uma questão em aberto, mas a variabilidade composicional das rochas intermédias-ácidas e dos próprios encaves parece apontar para a segunda hipótese.

5 – APLICAÇÃO DIDÁCTICA

Neste capítulo apresenta-se uma proposta de planificação da unidade "Magmatismo e Rochas Magmáticas" do programa de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade tendo como base a realização de uma saída de campo. A saída de campo está organizada de acordo com o modelo de Orion (1993, 1998).

Inicialmente é apresentada a revisão da literatura que constitui a base para a elaboração das propostas de planificação de saídas de campo e materiais didácticos que integram este trabalho.

5.1. – INTRODUÇÃO

Muitos têm sido os argumentos a favor da importância do conhecimento sobre a ciência e a actividade científica, por parte de todos os cidadãos. O crescimento científico das sociedades, verificado a partir do século XX, é de tal maneira intenso e trouxe alterações tão grandes e rápidas às sociedades, que conduziu a duas constatações: i) é preciso ter algum conhecimento científico para poder desenvolver socialmente atitudes que permitam acompanhar a repercussão do conhecimento científico; ii) o ensino formal das ciências, mesmo para indivíduos com aproveitamento escolar, não se traduz em competências úteis para tal fim. Dados recolhidos através de múltiplos estudos mostram que a maioria da população, mesmo em países industrializados e desenvolvidos, apresenta uma profunda ignorância sobre princípios, conceitos e factos relacionados com a ciência (Martins, 1999). Ora esta realidade tem de ser modificada se queremos ver cidadãos a actuarem conscientemente e responsavelmente na sociedade. Pois, cidadãos cientificamente alfabetizados estão em melhores condições para levarem a cabo o ideal de toda a sociedade plural e democrática: que os cidadãos participem na tomada de decisões dos assuntos que afectam directamente as suas vidas (Yuste, 1995).

Existe uma necessidade de se proporcionar uma formação científica mínima desde a escolaridade obrigatória, pois é grande o protagonismo dos conhecimentos científicos e a incidência das suas aplicações na nossa vida diária, ao que se adiciona o contributo para a formação pessoal e intelectual do indivíduo e a sua integração num determinado contexto social e cultural.

A rua, o campo, o exterior, adquirem uma dimensão especial no ensino das ciências. O estudo do meio apenas na sala de aula acaba por se centrar em conteúdos excessivamente teóricos e conceptuais (Prieto *et al*, 1998). Tal como os cientistas interligam o seu trabalho com a realidade e o mundo que os rodeia, também o ensino das ciências deve ter como um dos seus objectivos essa interligação.

Na actualidade percebe-se uma clara preocupação entre os professores do ensino secundário acerca das limitadas aprendizagens que conseguem os seus alunos. Parece que se aborrecem mais do que antes e manifestam-no mais abertamente. Em relação ao ensino da Geologia, este não é um problema novo, já que tradicionalmente os aspectos geológicos das ciências naturais são os que menos interesse despertam nos estudantes e provavelmente nos professores que, em parte devido à sua formação inicial, sempre "passaram alto" por estes temas (Jaén Garcia, 1999).

A educação em ciências da Terra permite conduzir o ensino formal em vários ambientes de aprendizagem: a sala de aula, o laboratório, as saídas (no campo, em museus, nas indústrias) e o computador. Contudo, os professores devem ter sempre em atenção quais as vantagens específicas de cada um destes ambientes de aprendizagem e qual o contexto mais apropriado para utilizar cada um destes ambientes, pois eles complementam-se uns aos outros (Orion, 2001).

O Trabalho de Campo tem sido um tema abordado ao longo de vários anos por diversos autores, nomeadamente, Orion (déc.80/90); Brusi, 1992; Compiani e Carneiro, 1993; Cutter, 1993; Garcia de La Torre *et al*, 1993; Nieda, 1994; Pedrinaci *et al*, 1994; Praia & Marques, 1997, 1998; Prieto & Villasán, 1998; Rebelo, 1998; Rebelo & Marques, 2000; Morgado, 2001; Dourado, 2001, etc.

Entre os professores de diversos níveis de ensino, existe um amplo consenso acerca da importância que têm as actividades de campo para a aprendizagem das Ciências da Natureza (Pedrinaci *et al*, 1994). Para muitos a educação científica fica incompleta se não se tiver incluído a realização de alguma actividade prática (Barberá & Valdés, 1996). McKenzie *et al*. (1986) considera que a Geologia é baseada em estudos de campo e considera que a realização destes, constitui uma necessidade básica na educação de um aluno. Contudo, este consenso nem sempre se traduz em saídas de campo e grande parte dos professores não está satisfeita com as saídas que realiza (Rebelo & Marques, 2000). Algumas das razões que se seguem são citadas para explicar a redução, e inclusive

supressão, das ditas actividades (Pedrinaci *et al*, 1994; Praia & Marques, 1997; Rebelo & Marques, 2000):

- Dificuldades de natureza geológica: falta de documentos que apoiem o professor, quer na preparação quer na execução da saída;
- Dificuldades de natureza financeira;
- Dificuldades de natureza curricular: conteúdos programáticos e cumprimento de programas;
- Dificuldades de tipo estrutural: falta de flexibilidade no funcionamento das escolas, rigidez de horários, elevado número de alunos por turma, etc.;
- Dificuldades de tipo organizativo: problemas de preparação de infra-estruturas, materiais e documentos de apoio, etc.;
- Dificuldades de tipo legal: falta de apoio da administração educativa, responsabilidade civil, etc.

Apesar de todas estas dificuldades, os autores continuam a considerar que o trabalho de campo tem bastante interesse didáctico na medida em que favorece o tratamento e desenvolvimento de (Pedrinaci *et al*, 1994):

- Conteúdos conceptuais (estrato, falha, discordância, etc.);
- Procedimentos científicos gerais (formulação de hipóteses, comparação, classificação, etc.);
- Procedimentos geológicos específicos (uso de mapas, uso dos princípios de sobreposição, horizontalidade, etc.);
- Atitudes (cooperação e trabalho de grupo, criatividade, ética ambientalista, etc.).

Já Thompson em 1982 reuniu algumas das finalidades do trabalho de campo, nomeadamente:

- Mobilizar conhecimentos geológicos prévios;
- Construir representações a partir da interpretação de fenómenos geológicos;
- Levantar problemas partindo de dúvidas e questões;
- Estruturar hipóteses para as confrontar com os conhecimentos adquiridos;
- Desenvolver atitudes e valores inerentes ao trabalho em ambiente natural.

Ainda neste contexto, Brusi (citado por Dourado, 2001) considera que o papel desempenhado pelo Trabalho de Campo pode ser diversificado e assinala vários objectivos, entre os quais se destacam os seguintes:

- favorecer a “imersão” no meio, o que permite captar a sua extensão, diversidade e complexidade e a multiplicidade de variáveis que nele interactuam;
- potenciar uma atitude de curiosidade acerca do meio que permite conhecer e exercitar procedimentos científicos que não têm lugar na sala de aula;
- exercitar habilidades, adquirir sequencialmente as destrezas que facilitam a prática de campo, tais como procedimentos ou métodos de carácter científico (desenvolver técnicas de orientação no terreno, interpretação de mapas, utilização de instrumentos ou procedimentos experimentais, realização de esquemas, etc.);
- desenvolver capacidades de observação, análise e interpretação, formulação de hipótese e síntese;
- adquirir ou exemplificar conhecimentos teóricos;
- recolher material de campo para trabalhos posteriores na aula ou laboratório;
- desenvolver atitudes e valores (como provocar o entusiasmo pela descoberta e compromisso ético com o meio);
- contribuir para uma consciencialização sobre a problemática natural e social do meio e para a adopção de atitudes de respeito e críticas sobre o seu uso.

Outros autores (Bonito *et al*, 1997; Bonito, 2001; Praia & Marques, 1997) acrescentam ainda:

- mobilizar conhecimentos prévios (geológicos/biológicos) dos alunos;
- desenvolver aprendizagens significativas dos novos conceitos;
- equacionar problemas e permitir uma elaboração inicial de dúvidas e questões;
- estruturar hipóteses para as confrontar com os conhecimentos adquiridos;
- construir representações a partir das observações realizadas;
- adquirir e desenvolver capacidades sensorio-motoras e outras próprias das actividades de campo;
- desenvolver o gosto pelo trabalho em equipa e capacidade para realizá-lo.

Parece evidente, que o trabalho de campo é um instrumento valioso, para ajudar os alunos a compreenderem o meio natural. Neste sentido, a Saída de Campo dá a oportunidade a que o aluno faça observações e interpretações, formule e confronte hipóteses, elabore “modelos”, manuseie materiais, isto é, que contacte com o real, o que não é possível efectuar na sala de aula (Silva *et al*, 1997).

Apesar de todo o valor educativo que unanimemente é atribuído ao trabalho Prático (Laboratorial e de Campo), verifica-se que os resultados não correspondem ao esperado, pois nem o factor de motivação faz com que os alunos alcancem uma aprendizagem significativa dos conceitos, nem a realização do trabalho Prático faz com que os alunos consigam adquirir hábitos e destrezas científicas. Este fracasso resulta da orientação que tem sido dada aos Trabalhos Práticos realizados (Araújo, 2001).

Sendo assim, as actividades de campo não são excursões lúdicas ou de diversão turística mas, como elementos do processo ensino – aprendizagem, requerem uma preparação prévia onde primeiro há que formular os objectivos a atingir com esta estratégia.

Desde a década de 70 que são vários os estudos publicados onde se propõe uma alternativa para o ensino das Ciências conhecida por "Construtivismo" (Driver *et al*, 1985; Osborne & Wittaoock, 1985; Bezzi, 1995, citados por Orion, 2001).

Basicamente, a perspectiva construtivista considera que o conhecimento não é uma cópia da realidade mas sim uma construção progressiva e pessoal do ser humano (Zabala, 2001). Segundo a concepção construtivista, aprendemos quando somos capazes de elaborar uma representação pessoal sobre um objecto da realidade ou sobre um conteúdo que pretendemos aprender. Isto implica uma aproximação, a esse objecto ou conteúdo, que parte de experiências, interesses e conhecimentos prévios que, presumivelmente, possam resolver a nova situação (Solé & Coll, 2001). Portanto, a construção do conhecimento é feita com base nos conhecimentos e experiências prévias do aluno (Orion, 2001).

Deste modo, o Trabalho de Campo deve assumir contornos diferentes daquele que habitualmente se pratica nas escolas. Para potenciar os objectivos de ensino/aprendizagem, o Trabalho de Campo deve passar a ser planificado e organizado de forma contextualizada, conceptual e temporalmente, com os conteúdos teóricos desenvolvidos na sala de aula, e estimular o envolvimento directo e activo do aluno em experiências concretas, para que este deixe de ter um papel passivo e acrítico.

A ideia de implementação integrada de trabalho de campo e trabalho laboratorial encontra-se concretizada em várias propostas metodológicas, das quais destaco a sugerida por Orion (1993).

5.1.1 – Um Modelo De Saída De Campo De Raiz Construtivista

As actividades de campo são essenciais à construção dos conhecimentos, servem de motivação e permitem uma nova organização e potenciação dos conteúdos adquiridos pelos métodos expositivos: no campo pode reconhecer e visualizar os conteúdos, as leis, as teorias fornecidas na sala de aula (Patrício, 2001).

Tendo em atenção a forma como cada professor organiza e implementa as actividades de campo, podem considerar-se vários modelos de saída de campo conforme o critério utilizado para a sua classificação. Assim, Compiani (1993) classifica as actividades de campo em: ilustrativas, indutivas, motivadoras e de investigação. Para esta classificação utiliza critérios como o objectivo central da saída, o método e a visão de ensino que se tem. Caso se considere somente o papel do professor as saídas de campo podem ser agrupadas em três categorias: saídas dirigidas, semi-dirigidas e não dirigidas (Brusi, 1992). Por sua vez Pedrinaci *et al* (1994), consideram que o que melhor caracteriza o modelo didáctico que se possui e que mais condiciona o tipo de actividades que se realizam no campo é a metodologia utilizada. Assim e atendendo a este critério, classificaram as saídas de campo em: tradicional, de descoberta autónoma, de observação dirigida pelo professor e, como alternativa, trabalho de campo como actividade de resolução de problemas.

Segundo Orion (1993) os professores devem utilizar um modelo holístico, ou seja, devem ser capazes de operar em diferentes ambientes de aprendizagem de modo a que se complementem uns aos outros. Para efectuar a sua proposta de trabalho de campo, este autor teve em consideração as seguintes conclusões extraídas da bibliografia e aqui resumidas:

- A principal estratégia da saída de campo deve corresponder a experiências "Hands-on", que concentrem as actividades que não podem ser realizadas na sala de aula ou laboratório;

- Os processos devem ser abordados de forma orientada de modo a que se atinjam todos os objectivos. Os alunos devem realizar actividades de observação, manipulação, identificação, medição e comparação. Estas actividades básicas servirão de suporte à realização de actividades de interpretação e elaboração de conclusões;
- Deve haver uma preparação dos alunos para a saída de campo. Quanto mais o aluno estiver preparado nos aspectos cognitivos, no conhecimento da área da saída de campo (factores geográficos) e no conhecimento do tipo de acontecimento em que vai participar (factores psicológicos), mais produtiva é a saída de campo para o aluno;
- A saída de campo deve ser integrada nas unidades de ensino, de forma a valorizar a aprendizagem realizada.

O modelo sugerido por Orion é o que está esquematizado na figura 5.1. Este modelo representa um desenvolvimento tridimensional do ciclo de aprendizagem, em que a hierarquização dos conceitos se faz num movimento em espiral, do concreto para o abstracto. No entanto, os mesmos conceitos podem ser abordados, em diferentes momentos e em contextos distintos, durante as três etapas que o Trabalho de Campo contemplar: *unidade preparatória, saída de campo e unidade de síntese* após a saída de campo.



Fig. 5.1 – Modelo em espiral que integra a Viagem de Campo entre momentos de aprendizagem na sala de aula. (Extraído de Praia *et al.*, 1997)

Apesar de cada uma das unidades que integram o modelo constituir uma unidade de aprendizagem diferente, com objectivos e locais de realização específicos, elas estão interligadas, na medida em que cada uma serve de ponte para a unidade seguinte (Praia & Marques, 1997; Silva *et al*, 1997).

A primeira fase deste modelo engloba a Preparação da Saída e tem o objectivo de preparar os alunos para as actividades fora da sala de aula. Nesta fase deve-se ter especial atenção à redução de *novelty space*, ou seja, o "espaço novidade" (Orion & Hofstein, 1994).

O *novelty space* compreende três factores: cognitivo, geográfico e psicológico. O cognitivo depende dos conceitos e das competências com que os alunos devem lidar ao longo da sua experiência no exterior. Assim, os alunos devem desenvolver actividades que envolvam a aprendizagem de conceitos, princípios e teorias de que necessitam para que, perante novas situações no campo, possam interpretar factos e formular ou reformular hipóteses. Os alunos devem também trabalhar com materiais que irão utilizar no campo. O factor geográfico reflecte a familiarização do aluno com a área física exterior e neste caso é importante dar conhecimento prévio ao aluno dos locais a visitar, por exemplo através de fotografias, diapositivos, mapas, filmes, trabalhando com mapas e fotografias aéreas. O factor psicológico é o hiato entre as expectativas dos estudantes e a realidade que enfrentam durante a aprendizagem no exterior. Neste sentido é importante a descrição detalhada da forma como a saída de campo vai ser organizada (por que/para que vamos ao campo?, onde vamos?, que faremos?) e discutindo a metodologia a adoptar no campo (como iremos fazer?) (Orion, 1998).

A eficácia educativa das saídas de campo é condicionada pelo *novelty space*, conforme revela um estudo efectuado por Orion & Hofstein (1994) em que os alunos a quem, antes da saída de campo, foi reduzido o *novelty space* revelaram melhor desempenho de aprendizagem, atingindo níveis de conhecimento e de atitudes elevados.

Assim, quanto mais se diminuir o *novelty space* através das actividades desenvolvidas, tanto na sala de aula como no laboratório, melhores condições se criam para potenciar a visita de estudo (Praia & Marques, 1997).

A duração desta fase é variável, atendendo à especificidade da sequência de aprendizagem, devendo a saída de campo ser integrada nos conteúdos programáticos da

disciplina e não ser realizada como um presente oferecido aos alunos no final do período ou ano lectivo (Praia & Marques, 1997).

A etapa seguinte é a Saída de Campo propriamente dita e onde se procura uma interacção concreta dos alunos com o meio. A concretização desta fase pressupõe a produção de materiais de apoio (Guia de Campo) que permitam a realização de tarefas pelos alunos, evitando-se assim, que os alunos recebam passivamente as informações transmitidas pelo professor.

O trabalho deverá caracterizar-se por uma investigação/procura individual e também conduzida em grupos de 2 ou 3 elementos, com questões que visem o estudo do afloramento, devendo as tarefas a realizar incluir questões que apelem à observação e identificação, que obriguem a formular hipóteses, a dar explicações e discuti-las com os colegas. Cada paragem deve ser concluída com questões em aberto, que podem ser posteriormente discutidas na aula, na unidade Pós-viagem (Praia & Marques, 1997). As tarefas realizadas individualmente e em grupo devem ser intercaladas com discussão em grupo aberto com o professor, com vista à clarificação e enriquecimento dos resultados das actividades obtidos pelos alunos (Pedrinaci, *et al*, 1994), e incentivando os alunos ao questionamento (Praia & Marques, 1997).

A unidade Pós-viagem permite a abordagem dos conceitos previamente seleccionados, que envolvem um maior grau de abstracção, como as perguntas deixadas sem resposta durante a Saída de Campo. A reformulação de hipóteses, baseada nos conhecimentos prévios adquiridos (Silva *et al*, 1997), assim como a confrontação com as observações realizadas durante as actividades de campo, vão agora ajudar a uma maior conceptualização dos conhecimentos, devendo ser os alunos com a mediação do professor, a construir a grelha de relações representada na estrutura geológica da região (Praia & Marques, 1997).

Durante esta fase deverá também ocorrer a avaliação do processo de ensino – aprendizagem, por exemplo através de questionários. Nestes podem ser abordados temas como: a aprendizagem individualizada, a metodologia seguida, as estratégias desenvolvidas, as actividades realizadas, entre outras (Praia & Marques, 1997). Outra hipótese é a elaboração de um relatório síntese, de um dossier, poster, audiovisual, etc, onde se reconheçam as fases do processo, os problemas levantados, as hipóteses iniciais, os resultados obtidos e os novos problemas surgidos e não resolvidos, constituindo assim,

formas possíveis para o registo e comunicação dos conhecimentos adquiridos durante a saída de campo e de avaliação do trabalho desenvolvido (Brusi, 1992).

Para a concretização do modelo, Orion (1993) sugere ainda alguns critérios que é necessário ter em consideração:

- Critério administrativo: a saída de campo deve ser facilmente organizada e facilmente realizada. Este critério obriga o professor a ter habilidade suficiente para organizar uma saída de campo, viável do ponto de vista de investimento em recursos (económicos e administrativos), para identificar facilmente, no campo, as estações de ensino e promover os suportes adequados às actividades de ensino e aprendizagem;
- Critério curricular: a saída de campo deve abranger os conceitos básicos que podem ser explicados no campo. Este critério assume a saída de campo como parte integrante do currículo;
- Critério educacional: a saída de campo deve constituir uma experiência de aprendizagem. Este critério pode parecer trivial, mas na realidade, a maioria das saídas de campo pode ser descrita como uma actividade social. De forma a tornar a saída de campo mais educativa, o professor deve desenvolver materiais que, por um lado preparem o aluno para a saída, e por outro o orientem no seu decurso.

Assim, se tivermos em atenção o modelo de natureza construtivista, a preparação de uma saída de campo deve integrar as seguintes etapas (Orion, 1989, 1993, 2001; Rebelo & Marques, 2000):

- Selecção e organização hierárquica dos conceitos, de acordo com o nível de abstracção (do concreto para o abstracto) e o momento de aprendizagem em que devem ser introduzidos (antes, durante e após a saída);
- Selecção da área de estudo que permita a abordagem dos conceitos previamente seleccionados (sala de aula, laboratório ou o campo);
- A área a estudar deve ser sempre que possível próximo da escola e deve ser escolhida de acordo com as suas potencialidades educacionais, no que respeita aos conceitos seleccionados e à implementação de estratégias de ensino - aprendizagem;

- Em relação aos locais de paragem, os fenómenos geológicos a observar devem ser claros e elucidativos, a zona deve ser de fácil acesso e com espaço suficiente para a movimentação dos alunos na realização das actividades com segurança;
- Na distribuição dos conceitos pelas diferentes paragens deve-se ter em conta que o mesmo conceito pode ser abordado em vários momentos ao longo da viagem;
- Elaboração do roteiro tendo em conta as paragens seleccionadas e atendendo ao seguinte:
 - a distância entre as paragens não deve ser superior a 15 minutos a pé ou a 30 minutos de carro;
 - a saída de campo de um dia não deve incluir mais do que 4 a 6 paragens e cada uma não deve durar mais do que uma hora;
 - o meio de transporte deve circular com facilidade;
 - entre as paragens deve existir uma relação lógica do ponto de vista educacional;
 - a localização das paragens em sítios atractivos não deve prejudicar a aprendizagem, sendo por isso importante reduzir o *novelty space*;
 - as atalhos a percorrer não devem exigir grande esforço físico aos alunos;
 - deve-se ter em consideração as condições de tempo/meteorológicas.
- Construção do Guia de Campo, que deve conter informações, propostas de trabalho e espaço onde o aluno possa fazer o registo das observações, colocar notas e escrever as suas conclusões. Este guia deverá orientar o trabalho de cada uma das sucessivas paragens. As propostas de actividades devem ter dois tipos de finalidades: orientar o aluno na observação de afloramentos e promover a realização de actividades como a formulação de hipóteses, dar explicações e resolução de questões – problema.
- Integração da Saída de Campo no currículo.

5.2. – PROPOSTA DE PLANIFICAÇÃO DA SUBUNIDADE *Magmatismo e Rochas Magmáticas*, tendo como finalidade a realização de uma saída de campo.

Atendendo ao estudo realizado em diferentes áreas da Zona Centro Ibérica, principalmente no Parque Natural da Serra da Estrela e suas proximidades, foram seleccionadas várias zonas onde poderá ser possível efectuar actividades práticas de campo com vista a atingir os objectivos pretendidos. Tais zonas são: a Pedreira (desactivada) do Covão do Curral, próximo de Lagoa Comprida; a zona entre Mangualde e Penalva do Castelo e a Pedreira do Monte das Carrascas (em actividade), próximo da Lageosa do Mondego. Salienta-se esta última pelo facto de ter sido nesta zona que decorreu grande parte do trabalho de investigação realizado e por ser óptima em termos de estruturas geológicas relativas à mistura de magmas. Contudo, esta zona não é a mais indicada para a realização de visitas de estudo com alunos, pois encontra-se em actividade, estando constantemente a sofrer alterações e por ser um local que acarreta alguns riscos em termos de segurança. Sendo assim, não se apresenta qualquer planificação de saída de campo para a zona da Pedreira do Monte das Carrascas, aconselhando, todavia, os interessados a visitarem este afloramento. Contudo, não poderemos garantir que a área em que são mais visíveis as relações existentes entre os diferentes tipos de granitóides, ainda exista, pois a pedreira encontra-se activa e como tal esta área facilmente é transformada em material para a construção.

5.2.1. – Enquadramento no Currículo

A proposta para as actividades apresentadas destina-se a alunos do 11º ano de escolaridade e insere-se no programa da disciplina de Biologia e Geologia, na unidade didáctica *Processos e materiais geológicos importantes em ambientes terrestres*, subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas*. Apresenta-se em seguida o programa da disciplina correspondente a esta subunidade (DES, 2003).

Tabela 5.1. – Conteúdos programáticos, nível de aprofundamento e número de aulas previstas para a subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas* (extraído de DES, 2003).

Conteúdos conceptuais	Enfatizar	Evitar	Factos, conceitos, modelos e teorias que os alunos devem conhecer, compreender e usar.	Nº de aulas
Magmatismo. Rochas Magmáticas.	A classificação das rochas magmáticas com base no ambiente de consolidação dos magmas. As características que distinguem os diferentes tipos de rochas magmáticas propostas, especialmente no que respeita à cor, à textura e à composição mineralógica.	O estudo descontextualizado das rochas magmáticas sem relação directa com o processo que presidiu à sua formação e com os ambientes geodinâmicos em que se produzem. Outras classificações das rochas magmáticas para além da classificação proposta. O estudo de outras rochas magmáticas para além das referidas.	- Composição dos magmas (pobres em sílica, ricos em sílica, magmas com composição intermédia). - Diferenciação magmática / cristalização fraccionada. - Minerais. Matéria cristalina. Isomorfismo e polimorfismo. - Rochas magmáticas, plutónicas e vulcânicas (basalto, gabro, andesito, diorito, riolito, granito). Caracterização com base na cor, na textura (granular e agranular) e na composição mineralógica e química.	8

De acordo com as linhas orientadoras do modelo proposto por Orion, a Saída de Campo deve ser posicionada entre uma fase de Preparação e uma fase de Pós – Viagem, havendo uma interligação entre estas três fases de tal modo que a planificação conjunta corresponda à estruturação de toda a unidade programática (Patrício, 2001). Tendo em atenção que os conteúdos previstos para uma determinada disciplina devem ser tomados como um todo, entendo que a planificação de uma unidade deverá estar interligada com unidades precedentes e posteriores. Deste modo cada unidade assenta em alguns pré-requisitos e alguns conteúdos/conceitos que são nela adquiridos constituem pré-requisitos para as unidades seguintes.

Em relação à organização do programa da disciplina de Biologia e Geologia, e antes da subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas*, os alunos já abordaram os seguintes temas:

- 1- Ocupação antrópica e problemas de ordenamento;
 - 1.1- Bacias hidrográficas;
 - 1.2- Zonas costeiras;
 - 1.3- Zonas de vertente;

- 2- Processos e materiais geológicos importantes em ambientes terrestres;
 - 2.1- Principais etapas de formação das rochas sedimentares (*Rochas Sedimentares e Rochas Sedimentares – arquivos históricos da Terra*).

Inseridos nestes temas encontram-se assuntos como as principais propriedades dos minerais e as escalas de tempo geológico.

Para além destes conteúdos, consideram-se também importantes as bases que os alunos têm, no que se refere a conceitos abordados durante o 3º ciclo do Ensino Básico, nomeadamente na unidade *Terra em Transformação*.

Em DES (2003) sugerem-se alguns dos caminhos que poderão ser seguidos na exploração dos diversos conteúdos programáticos. Os autores consideram "*que o programa deve ser sempre iniciado pela análise de situações – problema seguido, de imediato ou em simultâneo, pelo estudo da sedimentação. A partir deste ponto, porém, vários percursos podem ser escolhidos*".

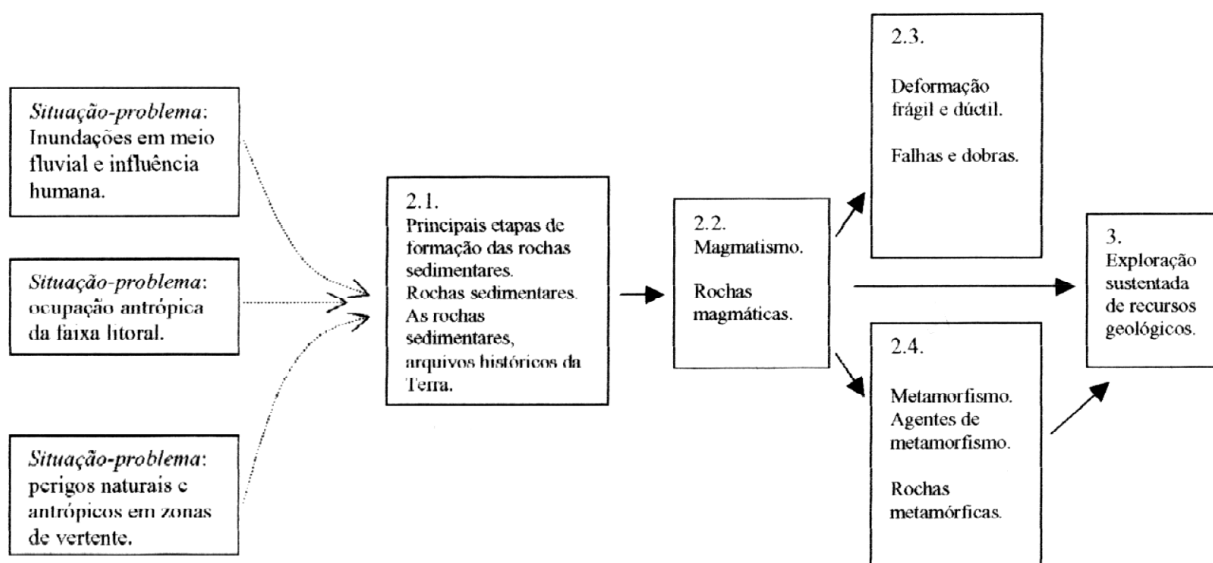


Fig. 5.2. – Carta de Exploração geral do Tema IV – Geologia, problemas e materiais do quotidiano (in DES, 2003)

Em relação à subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas* DES (2003) apresenta também uma carta de exploração (Fig. 5.3.) e as seguintes sugestões metodológicas (adaptado):

- O estudo da estrutura interna da matéria cristalina pode ser abordado através de pequenas experiências que permitam obter cristais em laboratório;

- Construção de modelos simples de estruturas cristalinas com o objectivo de facilitar a passagem do espaço bidimensional ao tridimensional, podendo, ao mesmo tempo, relacionar-se as estruturas internas com algumas propriedades físicas presentes nos minerais;
- Observação de amostras de mão de diferentes minerais acompanhada de observações ao microscópio petrográfico de lâminas delgadas.

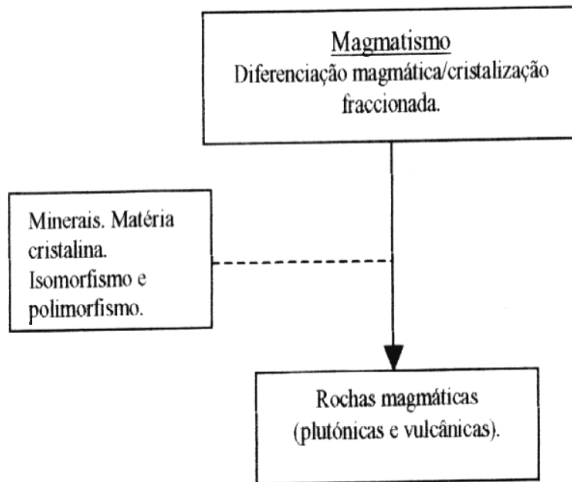


Fig. 5.3 – Carta de Exploração da subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas* (in DES, 2003)

5.2.2. – Planificação da Unidade

Atendendo ao estudo geológico efectuado na zona do Parque Natural da Serra da Estrela, mais exhaustivamente na Pedreira do Monte das Carrascas, foram seleccionados vários pontos de interesse para a implementação de actividades de campo. De entre estes pontos de interesse exclui-se a Pedreira do Monte das Carrascas, pelas razões já referidas anteriormente.

Reconhecidas as potencialidades didácticas e após a análise das Orientações Curriculares do Programa de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade, elaborou-se a planificação que a seguir se apresenta (Tabela 5.2).

Assim, nesta secção serão apresentados os materiais realizados e que proponhos serem utilizados aquando da leccionação da subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas* referente ao programa de Biologia e Geologia do 11º ano de escolaridade.

Esta proposta fundamenta-se no modelo de orientação construtivista anteriormente descrito, nomeadamente no que se refere às fases de preparação, saída de campo e pós-

saída de campo. Porém, concordamos com Praia & Marques (1997) ao referirem que nenhum modelo de ensino e aprendizagem pode ser transposto total e linearmente sem ajustamentos aos contextos e situações reais. É necessária da parte do professor uma atitude de investigador em acção, que através da reflexão e com criatividade possa reelaborar na prática a teoria.

A implementação de actividades de Trabalho de Campo requer necessariamente a elaboração de materiais didácticos adequados para o aluno e para apoio do professor (Praia & Marques, 1997). Na construção dos mesmos, devem ser considerados alguns aspectos essenciais:

- enquadramento das actividades de Trabalho de Campo no currículo;
- nível etário dos alunos;
- finalidades da saída de campo;
- fases de preparação, da saída de campo e pós-saída e diferentes espaços de aprendizagem em que ocorrem;
- selecção e organização interna das paragens roteiro para a saída de campo, que devem obedecer a uma lógica educacional e atender aos objectivos da investigação;
- privilegiar a metodologia investigativa, em que o aluno desempenha um papel activo no processo de ensino e aprendizagem, e o trabalho em grupo.

Seguidamente e referente à unidade planificada apresentamos *o plano de unidade de ensino* (Tabela 5.2), onde esquematicamente se referem as várias etapas e actividades a desenvolver na leccionação desta unidade.

Para a fase em que decorre a saída de campo propriamente dita, incluem-se dois roteiros possíveis: um na zona da Lagoa Comprida e o outro entre Mangualde e Penalva do Castelo. Estes roteiros devem ser utilizados um em alternativa ao outro, consoante as escolas ou turmas em questão. Deste modo, é importante que o professor que irá orientar os alunos visite os locais e escolha o que melhor se adapte à escola/turma em questão, quer em termos geológicos, como de proximidade à escola.

Tabela 5.2. – Plano de Unidade de Ensino da subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas*. Faz-se referência às actividades propostas, objectivos a atingir e tempos lectivos previstos para o desenvolvimento das actividades.

Plano de Unidade de Ensino

CONTEÚDOS /CONCEITOS	OBJECTIVOS	ACTIVIDADES	RECURSOS	T L
<u>MAGMATISMO.</u> <u>ROCHAS MAGMÁTICAS</u>				
- Rochas magmáticas plutónicas e vulcânicas (basalto, gabro, andesito, diorito, riolito, granito).	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar e identificar várias rochas magmáticas com base na cor, textura e na composição mineralógica 	<ul style="list-style-type: none"> Resolução da actividade – "Neptunistas, Vulcanistas e Plutonistas" Resolução da actividade prática – "À descoberta das rochas magmáticas" 	<ul style="list-style-type: none"> Actividade – "Nept., Vulc. e Plutonistas" Actividade prática – "À descoberta das rochas magmáticas" - Lupa, Placa de vidro, Andesito, Diorito, Gabro, Basalto, Riolito, Granito. 	1
- Caracterização com base na cor, composição mineralógica e química.	<ul style="list-style-type: none"> Compreender o significado de mineral fêlsico e de mineral máfico. Conhecer a classificação das rochas magmáticas quanto ao índice de cor. Compreender o significado de rocha magmática intrusiva e extrusiva. Relacionar aspectos de composição mineralógica e da textura das rochas magmáticas com os condicionalismos que presidiram à sua formação. Conhecer as principais texturas das rochas magmáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> Exploração da transparência nº 1 – "Rocha Magmáticas" Exploração da transparência nº 2 – "Cor" Exploração da transparência nº 3 – "Textura" Exploração da transparência nº 4 – "Textura (cont.)" Resolução da actividade prática – "Condições de formação dos minerais" 	<ul style="list-style-type: none"> Transparência nº 1, 2, 3 e 4 Actividade prática – "Condições de formação dos minerais" - (ver material do protocolo) 	1
- Minerais. Matéria cristalina. Isomorfismo e Polimorfismo.	<ul style="list-style-type: none"> Conhecer as características químicas e mineralógicas das principais rochas. Conhecer os factores que condicionam a formação de cristais Reconhecer a estrutura dos silicatos Compreender a designação de Isomorfismo e Polimorfismo. Conhecer exemplos de minerais Isomorfos e Polimorfos. 	<ul style="list-style-type: none"> Resolução da actividade – "Composição mineralógica" Exploração da transparência nº 5 – "Composição Mineralógica" Exploração da transparência nº 6 – "Formação de cristais" Exploração da transparência nº 7 – "Silicatos" Exploração da transparência nº 8 – "Isomorfismo - Polimorfismo" 	<ul style="list-style-type: none"> Actividade – "Composição mineralógica" Transparência nº 5, 6, 7 e 8 	1
- Composição de magmas (pobres em sílica, ricos em sílica, magmas com composição intermédia).	<ul style="list-style-type: none"> Relacionar as diferentes composições dos magmas com os vários ambientes em que ocorrem. Conhecer os principais magmas Conhecer as principais características dos principais magmas Relacionar as rochas magmáticas entre si. Relacionar as características dos magmas com as rochas que originam. 	<ul style="list-style-type: none"> Exploração da transparência nº 9 – "Composição química dos minerais" Exploração da transparência nº 10 – "Ambientes tectónicos nos quais ocorre formação de magmas" 	<ul style="list-style-type: none"> Transparência nº 9 e 10 	1

Tabela 5.2. (continuação) – Plano de Unidade de Ensino da subunidade *Magmatismo e Rochas Magmáticas*. Faz-se referência às actividades propostas, objectivos a atingir e tempos lectivos previstos para o desenvolvimento das actividades.

CONTEÚDOS /CONCEITOS	OBJECTIVOS	ACTIVIDADES	RECURSOS	T L
- Diferenciação magmática. Cristalização fraccionada e Mistura de magmas	<ul style="list-style-type: none"> Conhecer a zona da saída de campo: o que precisamos de saber. 	<ul style="list-style-type: none"> Resolução da actividade – "Leitura de cartas topográficas e geológicas" Resolução da actividade – "Utilização da bússola" Resolução da actividade – "Traçado de um perfil topográfico" Resolução da actividade – "Determinação do declive de uma linha de água a partir da interpretação de uma Carta Topográfica" Actividade de preparação para a saída de campo e observação de fotografias da zona a visitar. 	<ul style="list-style-type: none"> Mapas da região da saída de campo Bússolas Papel milimétrico Régua Máquina de calcular Fotografias da região da saída de campo 	2
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar actividades práticas fora da sala de aula (saída de campo) 	<ul style="list-style-type: none"> Actividade de Saída de Campo 	<ul style="list-style-type: none"> Guia de Campo Bússolas Martelo Sacos de plástico Carta Geológica da região Carta Topográfica da região Lápis, caneta, borracha... 	--
	<ul style="list-style-type: none"> Discussão das actividades desenvolvidas durante a saída de campo. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise de todo o material recolhido durante a saída de campo, bem como dos registos efectuados pelos alunos. 	<ul style="list-style-type: none"> Materiais recolhidos durante a saída de campo Guia de Campo 	1
	<ul style="list-style-type: none"> Compreender as séries reaccionais de Bowen. Compreender o mecanismo de diferenciação magmática e mistura de magmas. 	<ul style="list-style-type: none"> Resolução da actividade – "Processos Magmáticos – Evolução de magmas" 	<ul style="list-style-type: none"> Actividade – "Processos Magmáticos – Evolução de magmas" 	1

Em relação aos recursos propostos, eles encontram-se todos em anexo. Até ao 4º tempo lectivo, os recursos propostos são compatíveis com fase de preparação das duas Saídas de Campo que a seguir se propõem. No que respeita ao conhecer a zona da saída de campo, por parte dos alunos, e também durante a própria saída de campo, teremos de utilizar material diferente para cada uma das zonas em questão (Mapas, Fotografias, etc.).

5.2.3. – Saída de Campo

Propõem-se então, os dois roteiros de saída de campo: um na Serra da Estrela junto da Lagoa Comprida e um outro, entre Mangualde e Penalva do Castelo.

A Pedreira do Monte das Carrascas, apesar de ser um óptimo local em termos geológicos, acarreta vários problemas do ponto de vista da segurança, pois é um local que está em actividade, tal como já referi anteriormente.

5.2.3.1. - Selecção das paragens

Feita a distribuição dos conceitos e objectivos pela unidade de aprendizagem, seleccionaram-se, nas áreas escolhidas para a realização das actividades de campo, os locais onde os alunos vão realizar as tarefas. Ao fazer-se a selecção das paragens consideraram-se os seguintes aspectos:

- Clareza dos aspectos com interesse geológico a observar;
- Relação entre os aspectos geológicos que é possível observar e os objectivos e conceitos a estudar nesta unidade;
- Boas condição de acesso, em que o aluno tem facilidade de se movimentar para realizar as actividades propostas;
- Proximidade à estrada e em terrenos que embora, por vezes, um pouco acidentados, não põem em perigo a integridade física dos alunos.

5.2.3.2. - Organização da Saída (preparação da Saída de Campo, actividades a realizar no campo, actividades a realizar após a saída)

5.2.3.2.1. - Preparação da Saída de Campo

A Unidade de Preparação ocorre na sala de aula tendo por finalidade preparar as actividades práticas de campo. Neste sentido, cabe ao professor certificar-se de que os alunos adquirem os conhecimentos e as competências necessárias para a execução das tarefas apresentadas na Saída de Campo. Esta preparação pode ser dividida em dois

momentos: o primeiro, no qual se tratam de temas que podemos considerar de teóricos e, um segundo momento, em que são abordados assuntos directamente relacionados com a temática da Saída de Campo e com as competências práticas a desenvolver durante essa actividade.

No primeiro, no qual se tratam de temas que podemos considerar de teóricos, os recursos a utilizar e os objectivos são os que se encontram referidos na Tabela 5.2 (Plano de Unidade de Ensino), referentes aos primeiros quatro tempos lectivos. Os dois tempos lectivos seguintes e que antecedem a saída de campo propriamente dita, serão dedicados à abordagem de assuntos directamente relacionados com a saída de campo. Os materiais propostos encontram-se nos Anexos B e C)

5.2.3.2.2. - Durante a Saída de Campo

Em cada paragem o aluno terá que realizar, em grupo, um conjunto de actividades que visam a observação, identificação, formulação de hipóteses e explicações, às quais se seguirá uma discussão orientada pelo professor. As actividades propostas fazem parte do Guião de Campo do Aluno. Em anexo (Anexo D) encontram-se dois Guiões, correspondendo cada um a uma das zonas propostas para Saída de Campo.

5.2.3.2.3. - Após a Saída de Campo

Apesar da Saída de Campo ter terminado os dados e/ou materiais recolhidos (Ex. amostras de rochas, fotografias, registos, etc.) não podem ficar soltos ou perdidos. Pelo contrário, devem ser analisados e organizados, com vista à generalização dos conhecimentos adquiridos e ao estabelecimento de ligações com conhecimentos anteriores.

Assim, na unidade Pós-viagem deve fazer-se o estudo dos conceitos mais abstractos e retomar as questões abertas colocadas durante a saída de campo, fazendo eventuais sínteses, o que exige uma elevada capacidade de concentração e abstracção por parte do aluno.

Deste modo, propomos que os alunos, numa fase inicial, procedam à análise e organização dos materiais e dados recolhidos ao longo da Saída de Campo, bem como à exploração das questões propostas no Guia de Campo, tendo sempre por ajuda a orientação do professor. Com base neste trabalho desenvolvido na sala de aula, o aluno, poderá posteriormente realizar um Relatório da Saída de Campo, onde deve organizar e sintetizar as aprendizagens efectuadas. Proponho também a realização e exploração de uma ficha de trabalho, sobre os processos magmáticos e a evolução de magmas (Anexo E).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caminho percorrido para a consecução deste trabalho foi de extrema importância para a formação científica e pedagógica da autora. Realçamos toda a investigação feita no que respeita ao magmatismo da zona da Serra da Estrela, mais especificamente, à mistura de magmas. Contudo, destaca-se a planificação das actividades de Trabalho de Campo e a construção de materiais didácticos, fundamentados num modelo de organização construtivista. Pretende-se, assim, com estes materiais, dinamizar o Trabalho de Campo centrando-nos no aluno, como sendo ele o construtor do seu próprio conhecimento.

Neste sentido, este trabalho deve ser encarado como uma ferramenta de orientação dos docentes que leccionam a disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade e que queiram implementar o Trabalho de Campo, particularmente nos conteúdos “Magmatismo e Rochas Magmáticas”. Contudo, as actividades propostas, sua planificação e materiais de apoio construídos poderão ser adaptados para outros graus de ensino, desde que o docente reflecta sobre a sua estrutura, de modo a adaptá-los e a contextualizá-los, tendo em atenção as características dos alunos e a escola a que eles pertencem.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

No que respeita à Aplicação Didáctica, é importante referir que as actividades propostas/materiais construídos não foram validados com alunos. Neste caso, o tempo necessário para efectuar toda a pesquisa bibliográfica (Formação de Magma, Geologia da Serra da Estrela e Zona de Penalva do Castelo – Viseu, Petrografia e Geoquímica, Didáctica – Trabalho de Campo), realizar Trabalho de Campo (Serra da Estrela, Pedreira do Monte das Carras e Zona de Mangualde), Trabalho de Laboratório (análise petrográfica e química das amostras recolhidas), análise de todos os resultados obtidos em relação às amostras e à reflexão sobre a melhor forma de operacionalizar o modelo construtivista de Trabalho de Campo, traduzida numa planificação exequível e criação de materiais didácticos de apoio, adequados ao aluno, não possibilitaram a implementação

destas actividades junto dos alunos no período disponível para esta investigação. Acresce-se ainda o facto de, na actividade docente que a autora tem efectuado nos últimos anos, ainda não ter leccionado o 11.º ano de escolaridade na reforma curricular que agora está em vigor. Contudo, é importante que esta avaliação venha a ser feita, pois só assim se poderá averiguar o impacto destes materiais, na motivação dos alunos, bem como no desenvolvimento de actividades investigativas e na sua aprendizagem.

IMPLICAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

Quando analisamos os manuais escolares que os docentes têm à disposição, facilmente se verifica que são raros os que incluem propostas de Trabalho de Campo, principalmente se pensarmos em materiais didácticos de apoio aos alunos e docentes.

Cremos que as editoras poderiam empenhar-se mais em incluir nas suas publicações de manuais escolares, ou livros de apoio, materiais semelhantes aos que constam neste trabalho.

Uma maior divulgação de projectos de Trabalho de Campo, baseados numa orientação construtivista, decerto iria constituir um incentivo aos docentes, quer na implementação de Trabalho de Campo, quer na formação e actualização de docentes.

Pensando no futuro, gostaríamos de deixar um ponto de partida para novos estudos, tais como:

- Continuar o estudo no que respeita à mistura de magmas, principalmente através, da análise de novas amostras da Pedreira do Monte das Carrascas;
- Diagnosticar a opinião dos professores sobre os materiais didácticos elaborados;
- Avaliar o impacto da implementação destes materiais na motivação dos alunos, bem como no desenvolvimento de actividades investigativas e na aprendizagem dos alunos;
- Adaptar os materiais e aplicá-los a outros níveis de ensino, ou mesmo em cursos de formação/actualização de professores.

BIBLIOGRAFIA

AGUAYO, M.J.B.; CORRALES, E.M. & CASTELAO, F.P. (1999). *Un itinerario por la ciudad como recurso para el aprendizaje de las rocas*. *Alambique* - Didáctica das Ciências Experimentais, n.22, p.33-41.

AIRES-BARROS, L. & SANTOS, J. PAULA (1966). *Sobre uma «Brecha Granítica» da Lagoa Comprida (Serra da Estrela)*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XVI, Fasc. I-II, Lisboa, p. 61-77.

ALBUQUERQUE, C.A.R. (1978). *Rare earths elements in "younger" granites, northern Portugal*. *Lithos*, 11, p. 219-229.

ALEIXANDRE, M. P. J.; RODRÍGUEZ, R. L. & MUÑOZ, C. P. (1995). *Integrando la educación ambiental en el currículum de ciencias*. *Alambique*: Didáctica de las Ciencias Experimentales, 6, p.9-17.

ALLEGRE, C. (1988). *A Espuma da Terra*. Gradiva.

ALMEIDA, A. (1998). *Visitas de Estudo – concepções e eficácia na aprendizagem*. Livros Horizonte, Lisboa.

ANDRADE, A. S. (2001). *Questões-Problemas do Quotidiano. Contributos para uma abordagem global no currículo de Geociência*. In Marques, L. & Praia, J. (Org.). *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*. Aveiro: Centro de Investig. Didáct. e Tecnol. na Formação de Formadores e Departamento de Didáct. e Tecnol. Educativa da Universidade de Aveiro, p.116-129.

ARAÚJO, M.M.T.M.V (2001). *Alfabetização Científica e Actividade de Outdoor em Geologia: Uma Experiência Inovadora - Um estudo na freguesia de Canelas - Arouca*. Dissertação de Mestrado em Geologia para o Ensino (não publicada), Universidade do Porto, Porto.

AZEVEDO, M. R. M. A. (1996). *Hercynian Granitoids from Fornos de Algodres Area (Northern Central Portugal)*. A thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy at the University of London (inérita), Department of Geology, Royal School of Mines, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London SW7 2BP.

AZEVEDO, M. R. & NOLAN, J. (1998). *Hercynian late-pos-tectonic granitic rocks from Fornos de Algodres area (Northern Central Portugal)*. In *Lithos* 44, p. 1-20.

AZEVEDO, M.; VALLE AGUADO, B.; NOLAN, J.; MARTINS, M. & MEDINA, J. (2005). *Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia the Beiras massif*. In: (eds.) Carosi, R., Dias, R., Iacopini, D., and Rosenbaum, G., The southern Variscan belt, *Journal of the Virtual Explorer*, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, Volume 19, Paper 7.

AZINHEIRA, D., BARTOLOMEU, A. *et al* (1998). *Preparação e realização de uma aula de campo. O exemplo da Praia norte de Sines*. In *Comunicações - Acta do V Congresso Nacional de Geologia*, 84, Fascículo 2, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, p.30-32.

BARBARIN, B. (1991). *Enclaves of the Mesozoic calc-alkaline granitoides of the Sierra Nevada Batholith, California..* In *Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology* 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.

BARBARIN, B. & DIDIER, J. (1991). *Macroscopic features of mafic microgranular enclaves*. In Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.

BARBARIN, B. & DIDIER, J. (1992). *Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas*. Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci., 83, p. 145-154.

BARBERÁ, O. & VALDÉS, P. (1996). *El Trabajo Práctico en la Enseñanza de las Ciencias: una revisión*. Enseñanza de las Ciencias, 14 (3), p. 365-379.

BARBOSA, A. & CORREIA, A. (1998). *À descoberta da Estrela – grandes rotas pedestres*. Instituto de Conservação da Natureza, 2ª edição, Manteigas.

BEA, F. (2004). *La naturaleza del magmatismo de la Zona Centroibérica: consideraciones generales y ensayo de correlación*. In Geología de España; Vera, J. A. ed. Pral. – Madrid: Sociedad Geológica de España; Instituto Geológico y Minero de España, p. 128-133.

BEETSMA, J.J.(1995). *The late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian cristal evolution of the Iberian massif, N Portugal: as traced by geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics*. PbD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, p. 223.

BEST, M. G. & CHRISTIANSEN, E. H. (2001). *Igneous Petrology*. Blackwell Scienc, USA.

BLAKE, S., & CAMPBELL, I. H. (1986). *The dynamics of magma mixing during flow in volcanic conduits*. Contrib. Mineral Petrol., 94, 72-81.

BONITO, J.M.R. & SOUSA, M.B. (1997). *Actividades Práticas de Campo em Geociências. Uma proposta alternativa*. In Didáticas. Metodologias da Educação. Braga: Departamento de Metodologia da Educação, Universidade do Minho, p.75-91.

BONITO, J (2001). *As actividades Práticas no Ensino das Geociências. Um estudo que procura uma conceptualização*. 1ª Ed. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional, Ministério da Educação, p.19-52.

BOSQUE, R.I.; ALONSO, M.C.S.; LÁZARO, J.R. & GARCÍA, J.T. (1998). *Una propuesta para estudiar el origen de los magmas*. Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales. N.18; p. 37-45.

BRUSI, D. (1992). *Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas de campo en geología (I): aspectos funcionales*. (Tradução de Lara, P., Dorado, F. & Lara, L.) VII Simposio Enseñanza Geologia Compostela, p.363-389.

BRUSI, D. (1992). *Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas de campo en geología (II): aspectos metodológicos*. VII Simposio Enseñanza Geologia, Compostela, p.391-407.

BURG, J. P.; IGLESIAS PONCE de LÉON, M.; LAURENT, P., MATTE, P. & RIBEIRO, A. (1981). *Variscan intracontinental deformation: The Coimbra-Córdoba shear zone (SW Iberian Peninsula)*. Tectonophysics, 78, p. 161-177.

BURNETT, J. & DOOLEY (1996). *Small group behaviour in a novel field environment: senior science students visit a marine theme park*. Australian Science Teachers Journal, Vol 42, N.º 4.

- CACHAPUZ, A. F. *et al* (2001). *Formação de Professores - Ciências: Perspectivas de Ensino*, textos de apoio nº1, 2ªEd. Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência.
- CAMPANARIO, J.M. & MOYA, A. (1999). *Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas*. Enseñanza de las Ciencias. 17 (2), p. 179-192.
- CAMPOS, T.F.C.; NEIVA, A.M.R. & NARDI, L.S.V.(2000). *Geochemistry of granites and their minerals from Serra Negra do Norte pluton, northeastern Brazil*. Chem. Erde, 60, p. 279-303.
- CAPDEVILA, R. & FLOOR, P. (1970). *Les différents types de granites hercyniens et leur distribution dans le NW d'Espagne*. Bol. Geol. Min. (Madrid) 89 (1/2), p. 101-112.
- CAPDEVILA, R. ; CORRETGÉ, G. & FLOOR, P. (1973). *Les granitoides varisques de la Meseta Ibérique*. Bull. Soc. Geol. France (paris), 7ª Ser. 15 (3/4), p. 209-228).
- CARMICHAEL, I. S. E.; TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. (1974). *Ígneos Petrology*. McGraw-Hill Book Company, New York..
- Carta Geológica de Portugal 1:1000000* de 1968. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos; Serviços Geológicos de Portugal.
- CASQUERO, J. (2001). *Geologia*. Bachillerato Everest, Editorial Everest, S.A., León (Espanha).
- CASTRO, A. (1990). *Microgranular enclaves of the Quintena granodiorite (Los Pedroches batholith) Petrogenetic significance*. Ver. Soc. Geol. España. 3, 7-21.
- CASTRO, A.; MORENO-VENTAS, I. & DE LA ROSA, J. D. (1990a). *Multistage crystallization of tonalitic enclaves in granitoid rocks (Hercynian belt, Spain). Implications in magma mixing*. Geol. Rundschau, 80, 109-120.
- CASTRO, A.; MORENO-VENTAS, I. & DE LA ROSA, J. D. (1990b). *Implicaciones de los enclaves máficos microgranulares en la petrogénesis de los granitoides calcoalcalinos hercínicos*. Geogaceta, 8, 13-16.
- CASTRO, A.; MORENO-VENTAS, I & DE LA ROSA, J.D. (1991). *H-type (Ibrid granitoids): a proponed revision of the granite-type classification and nomnclature*. Earth Science Review, 31, p. 237-253.
- CASTRO, A.; MORENO-VENTAS, I. & DE LA ROSA, J. D. (1994). *Rocas plutónicas híbridas y mecanismos de hibridación en el Macizo Ibérico Hercínico*. Boletín Geológico y Minero. Vol. 105-3, p. 63 – 83.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. (1974). *Two contrasting granite types*. Pacif Geology (Tokyo), 8, p. 173-174.
- CLARK, D. B.(1992). *Granitoid Rocks–Topics in the Earth Sciences 7*. Chapman & Hall, Canada.
- CLEMENS, J.D. (1990). *The granulite granit connexion*. In: VIE, D. & VIDAL, P.H.(Ed.). *Granulites and Crustal Differentiation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 25 - 36.

CLEMENS, J.D. & VIELZEUF, D.(1987). *Constraints on melting and magma production in the crust*. Earth Planet. Sci. Letters, 86, p. 287-306.

COLL, C. & SOLÉ, I (2001). *Enseñar y aprenda en el contexto del aula*. In: COLL, A.C.; PALACIOS, J. & MARCHESI, A. (2001). *Desarrollo Psicológico y Educación 2. Psicología de la Educación Escolar*. 2 ed., Madrid, Alianza Editorial, p. 357-386.

COMPIANI, M. & CARNEIRO, C. (1993). *Os papéis didáticos das excursões geológicas*. Eneñanza de las Ciências de la Tierra. 1 (2), p. 90-98.

CORRETGÉ, L.G.; UGIDOS, J.M.; MARTINEZ, F.J. (1977). *Les séries granitiques varisques du secteur centre-occidental espagnol*. Colloq. Internat.Centre Nat. Rech. Sci. (Paris), 243, p.453-461.

CORRETGÉ, L.G. (1983). *Las rocas graníticas y granitoides del Macizo Ibérico*. In Geol. de España (Libro Jubilar de J.M. Rios), p. 569-592.

CUTTER, E. (1993). **Fieldwork: an essential component of biological training**. *Journal of Biological Education*, 27 (1), p.3-4.

DALLMAYER, R. D. & MARTINEZ GARCIA (1990). *Introduction to the Pré-Mesozoic Geology of Ibéria..* In Pré-Mesozoic Geology of Iberia. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin.

DEBON, F, & LE FORT, P. (1983). *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations* . Transactions of Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. 73 (from 1982), p.135-149.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. (2000). *Minerais constituintes das rochas – Uma introdução*. 2ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUD, P.; MARCHAL, M. (1980). *A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-Diagram and major-element analyses – Its relationships whit current nomenclature*. Chemical Geology, 29, 183-210.

DES (2001). *Programa de Biologia e Geologia – 10º Ano*. Departamento do Ensino Secundário. Ministério da Educação.

DES (2003). *Programa de Biologia e Geologia – 11º Ano*. Departamento do Ensino Secundário. Ministério da Educação.

DIAS, A.G.; GUIMARÃES, P. & ROCHA, P. (2004). *Geologia 11 – Biologia e Geologia 11º ano*. Areal Editores, p. 80 – 99.

DIAS, G. (1987). *Mineralogia e Petrologia de Granitos Hercínicos associados a mineralizações filonianas de Sn-W (Minho, Portugal)*. Tese de doutoramento (inérita), Univ. Minho, 304 p.

DIAS, G. (2001). *Fontes de Granitóides Hercínicos da Zona Centro-Ibérica (Norte de Portugal): evidências isotópicas (Sr, Nd)*. In Colóquio – Geoquímica e Petrogénese de Rochas Granitóides. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa. Classe de Ciências. Tomo XXXIX. Lisboa, p.121-143.

- DIAS, G.; LETERRIER, J.; FERREIRA, N. & LOPES NUNES, J.E. (1992). *Les granitoides biotitiques syn- à tardi- hercyniens de la région de Braga (Nord Portugal). Typologie chimico-minéralogique et implications petrogenétiques*. CR. Acad. Sci., Paris, 314, série II, p. 675 – 681.
- DIAS, G. & LETERRIE, J. (1994). *The génesis of felsic-mafic plutonic associations: a Sr and Nd study of the Hercynian Braga Granitoid Massif (Northern Portugal)*. Lithos, 32, p. 207-223.
- DIAS, G.; SIMÕES, P. P.; FERREIRA, N. & LETERRIER, J. (2002). *Mantle and Crustal Sources in the Génesis of Late-Hercynian Granitoids (NW Portugal): Geochemical and Sr-Nd Isotopic Constraints*. In Gondwana Research, V. 5, No. 2, p.278-305.
- DIAS, R. (1994). *Regimes de deformação do Autóctone da ZCI: Importância para a compreensão da Génese do Arco Ibero-Armoricano*. PhD, Unpublished PhD. Thesis, University of Lisbon.
- DIDIER, J. & BARBARIN, B. (1991). *The different types of enclaves in granites - nomenclature..* In Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.
- DÍEZ BALDA, M.A.; VEGAS, R. & GONZALES LODEIRO, F. (1990). *Central Iberian Zone. Autochthonous Sequences: Structure*. In Pré-Mesozoic Geology of Iberia. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p.172-188.
- DÍEZ BALDA, M.A. & VEGAS, R. (1992). *La estructura del dominio de los pliegues verticales de la Zona Centro Ibérica*. In: GUTIÉRREZ MARCO, J.G.; SAAVEDRA, J. & RÁBANO, I., eds. *Paleozóico Inferior de Ibero-América*. Univ. Extremadura, p. 523-534.
- DOURADO, L. (2001). *O trabalho prático no ensino das ciências naturais: situação actual e implementação de propostas inovadoras para o Trabalho Laboratorial e o Trabalho de Campo*. Tese de Doutoramento em Educação. Universidade do Minho. Instituto de Educação e Psicologia. Braga.
- EICHELBERGER, J. C. (1980). *Vesiculation of mafic magma during replenishment silic magma reservoirs*. Nature, 288, 446-450.
- FARIAS, P.; GALLARTEGUI, G.; GONZALEZ LODEIRO, F.; MARQUINEZ, J.; MARTIN PARRA, L.M.; MARTINEZ CATALAN, J.R.; PABLO MACIA, J.G. & RODRIGUEZ FERNANDEZ, L.R. (1987). *Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura da Galicia Central*. Men. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciências do Porto, n.º1, p. 411 – 431.
- FÉLIX, J., SENGU, I, CHAVES, R (2005). *Geologia 12º ano*. Porto Editora
- FERNANDEZ, A. N. & BARBARIN, B. (1991). *Relative rheology of coeval mafic and felsic magmas..* In Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.
- FERREIRA, D. B. (1981). *Carte Geomorphologique du Portugal - Notícia Explicativa*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- FERREIRA, N.; IGLÉSIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, A.; RIBEIRO, M.L. (1987). *Granitóides da Zona Centro Ibérica e o seu enquadramento geodinâmico*. In BEA, F., CARNICERO, A., GONZALO, J.C., LOPEZ PLAZA, M. & RODRIGUES ALONSO, M.D., eds.

Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Maciço Hespérico, Libro Homenaje a L. C. G. Figuerola, Madrid.

FERREIRA, N. & VIEIRA, G. (1999). *Guia Geológico e Geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela - Locais de interesse Geológico e Geomorfológico*. Instituto de Conservação da Natureza e Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

FLOOD, R. H. & VERNON, R. H. (1988). *Microstructural evidence of orders of crystallization in granitoid rocks*. Lithos, 21, p. 237-45.

FROST, T. P. & MAHOOD, G. A. (1987). *Field, chemical, and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamarck granodiorite, Sierra Nevada, California*. Geol. Soc. Am. Bull., 99, 272-291.

GALOPIM de CARVALHO, A.M. (1979). *Ciências Naturais - Geologia*, Vol.III, Ministério da Educação.

GALOPIM de CARVALHO, A.M. (1997). *Geologia – petrogénese e orogénese*, Universidade Aberta.

GALOPIM de CARVALHO, A.M. (2002). *Introdução ao estudo dos minerais*., Colecção Sopas de Pedra, 2ª edição, Âncora Editora, Lisboa.

GARCIA BARROS, S.; MARTINEZ LOUSADA, M.C.; MONDELO ALONSO, M. (1995). *El trabajo práctico. Una intervención para la formación de profesores*. Enseñanza de las ciencias, 13 (2), p.203-209.

GARCIA DE LA TORRE, E.; SEQUEIRO, L. & PEDRINACI, E. (1993) *Fundamentos para el aprendizaje de la Geología de campo en la Educación Secundaria*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1(1), P. 11-18.

GARCIA, J.M. (1999). *Para qué sirven las rocas?*. Alambique. Didáctica de las Ciências Experimentales. N.22. p.21-31.

GIL IBARGUCHI, J.I.; BOWDEN, P. & WHITLEY, J.E. (1984). *Distribución de Tierras Raras (REE) en granitoides Hercínicos de la región de Fenisterre (NW España)*. Cuadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe, 7, p.19.

GODINHO, M.M.; NEVES, L.J.P.F. & PEREIRA, A.J.S.C. (1988). *A diversidade de rochas do espectro gabro-granodiorito na região de Farminhão – Portela (Viseu, Portugal Central) – um modelo integrado de diferenciação*. Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, 106, p. 155 – 166.

GONÇALVES, R. P. (2001). *O Carbónico da Região do Buçaco - Aplicações Didácticas*. Dissertação de Mestrado em Ensino da Geologia e Biologia (não publicada), Universidade de Aveiro, Aveiro.

GUTIERREZ MARCO, J.C.; SAN JOSE, M.A. & PIEREN, A.P. (1990). *Central Iberian Zone. Autochthonous Sequences: Post-Cambrian Palaeozoic Stratigraphy*. In Pré-Mesozoic Geology of Iberia. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p.160-168.

HANSON, G. N. (1978). *The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition*. Earth and Planetary Science. Letters, 38, p. 26-43

- HARRISON & WATSON, E. B. (1983). *Kinetics of dissolution and zirconium diffusion in granitic melts of variable water content*. Contributions to Mineralogy and Petrology, 84, p. 66-72
- HIBBARD, M. J. (1981). *Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems.. In* Contributions to Mineralogy and Petrology, 76, p.158-170.
- HIBBARD, M. J. (1991). *Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems.. In* Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.
- HIBBARD, M. J. (1995). *Petrography to Petrogenesis.. Prentice-Hall, USA..*
- HUPPERT, H. E.; SPARKS, R. S. J.; TURNER, J. S. (1982). *Effects of volatiles on mixing in calc-alkaline magma systems*. Nature, 297, 554-557.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (1999). *Carta Geológica Simplificada do Parque Natural da Serra da Estrela esc. 1/75 000*. Parque Natural da Serra da Estrela.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DE CARTOGRAFIA E CADASTRO (1998). *Carta Turística do Parque Natural da Serra da Estrela esc. 1/50 000*. Parque Natural da Serra da Estrela.
- JAÉN GARCIA, M. (1999). *Para que sirven las rocas?. Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.22, p.21-31
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J.M., RIBEIRO, A., CONDE, L. (1974). *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- JULIVERT, M.; MARTÍNEZ, F.M. & RIBEIRO, A.(1980). *The Iberian segment of the Hercynian Foldbelt*. Congres Geologique International, 26/1980/Paris, 3, p. 1408.
- KARABINOS, P. *et al* (1992). *Attracting Students to Science Through Field Exercises in Introductory Geology Courses*. Journal of Geological Education, Vol. 40.
- KRAUSKOPF, K. B. (1972). *Introdução à Geoquímica II*. Editora da Universidade de São Paulo, Editora Polílogo.
- KEMPA, R. *et* ORION, N. (1996). *Students' perception of co-operative learning in Earth science fieldwork*. Research in Science & Technological Education, Vol. 14, N.º 1.
- KERN, E. *et* CARPENTER, J. (1984). *Enhancement of Student Values, Interests and Attitudes in Earth Science Through a Field-Oriented Approach*. Journal of Geological Education, Vol. 32.
- KOUCHI, A. & SUNAGAWA, I. (1985). *A model for mixing basaltic and dacitic magmas as deduced from experimental data*. Contrib. Mineral.Petrol., 89, 17-23.
- KOYAGUCHI, T. (1985). *Magma mixing in a conduit*. J. Volcan. Geoth. Res., 25,365-368.
- KOYAGUCHI, T. (1987). *Magma mixing in an esqeeezed conduit*. Earth Plan. Sci. Lett., 84, 334-339.

LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P. & MMARCHAL, M. (1980). *A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis. Its relationships with current nomenclature*. Chemical Geology, 29, p. 183-210.

LEBRETON, N. & THOMPSON, A.B. (1997). *Fluid absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis*. Contrib. Mineral. Petrology, 99, p. 226-237.

LOTZE, F. (1945). *Zur Gliederung der Varisziden des Iberischen Meseta*. Geotekt Forsch, 6, p. 78-92.

LUTH, W.C.; JAHNS, R.H.; & TUTTLE, O.F. (1964). *The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars*. J. Geophys. Res., 69, p. 759 – 773.

MACKENZIE, G. *et al* (1986). *The importance of field trips. A geological example*. Journal of College Science Teaching, XVI, p.17-20.

MCKENZIE, G.; UTGARD, R. & LISOWSKI, M. (1986). *The importance of field trip, a geological example*. Journal of College Science Teaching, 16, p.17-20.

LAMEYRE, J. & BONIN, B. (1991). *Granites in the main plutonic series.. In Enclaves and Granite Petrology*. Developments in Petrology 13. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.

MAALOE, S. & WYLLIE, P. J. (1975). *Water content of a granite magma deduced from the sequence of crystallization determined experimentally with water-undersaturated conditions*. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 52, p. 175-191

MANNER, B. (1995). *Field Studies Benefit Students and Teachers*. Journal of Geological Education, Vol. 43, p.128-131.

Mapa de Portugal – Madeira e Açores 1:600000. Cliparte Design & Mapas.

MARQUES, E.M.N. (2001). *O Trabalho Experimental em Geociências: construção de materiais e sua validação no contexto de sala de aula*. Tese de mestrado (não publicada); Universidade de Aveiro.

MARQUES, L. *et al* (2001). *Geociências nos currículos dos ensinos básico e secundário*. Universidade de Aveiro, Aveiro.

MARQUES, L.; PRAIA, J. & VASCONCELOS, C. (2001); *Caderno de Actividades Laboratoriais de Geologia - Dinâmica Externa*. Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa, Universidade de Aveiro, Aveiro.

MARQUES, L.; PRAIA, J. & TRINDADE, V. (2001 a). *Situação da Educação em Geociências em Portugal: Um confronto com a investigação didáctica*. In MARQUES, L., PRAIA, J. (Org.). *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*. Aveiro: Centro de Investigação Didáctica e Tecnologia na Formação de Formadores e Departamento de Didact. e Tecnol. Educativa da Universidade de Aveiro, p.16-33.

MARTÍNEZ, F.J. & GIL IBARGUCHI, J.I. (1983). *El metamorfismo en el Macizo Ibérico*. In: Geología de España (Libro Jubilar JM Rios). Inst. Geol. Min. Esp., 1, p. 555-569.

MARTÍNEZ, F.J.; CORRETGE, L.G. & SUAREZ, O. (1990). *Central Iberian Zone. Autochthonous Sequences: Distribution, Characteristics and Evolution of Metamorphism*. In Pré-

- Mesozoic Geology of Iberia. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p.207-210.
- MARTINS, I. (1999). *Literacia Científica: dos mitos às propostas*. Conferência plenária no VII Encontro Nacional de Educação em Ciências. Faro: Escola Superior de Educação.
- MARTINS, E. C. M. (2006) – *Geologia, Morfologia e Vegetação na Serra da Estrela. Aplicações Didáticas*. Tese de Mestrado (inérita), Universidade de Aveiro, 229 p.
- MARTINS, M. E. R. (1997). *Geologia, Petrologia e Geoquímica dos Granitóides Hercínicos da Região de Lamego (Norte de Portugal)*. Tese de Doutoramento (inérita), Universidade de Aveiro, 287 pp.
- MAYER, V. (1997). *Global Science Literacy: Na Earth System View*. Journal of Research in Science Teaching, Vol. 34, N.º 2, p. 101-105
- MENDES, M. H. (1997). *Processos Metamórficos Variscos na Serra da Freita (ZCI – Portugal)*. Tese de Doutoramento (inérita), Universidade de Aveiro.
- MILLER, C.F. (1985). *Are strongly peraluminous magmas derived from pelitic sedimentary sources?* Journal of Geology, 93, p. 673 – 689.
- MOREIRA, J. & ARAÚJO, M. (1999). *Técnicas Laboratoriais de Geologia – Bloco I*. Porto Editora, Porto.
- MORGADO, M. M. M. (2001). *O Trabalho de Campo em Geociências: Um Percorso de Investigação com Materiais Didáticos de Orientação Construtivista*. Dissertação de Mestrado em Ensino da Geologia e Biologia (inérita). Aveiro: Universidade de Aveiro, 290 p.
- MURCK, B. W. (2001). *Geology – a self-teaching guide*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- NEIVA, ANA M. R.; NEIVA, JOÃO M. C. & PARRY, SUSAN J. (1987). *Geochemistry of the granitic rocks and their minerals from Serra da Estrela, Central Portugal*. Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 51, Pergamon Journals Ltd. U.S.A. pp. 439-454.
- NEIVA, A. M. R. & GOMES, M. E. P. (2001). *Diferentes tipos de Granitos e seus Processos Petrogenéticos: Granitos Hercínicos Portugueses*. In Colóquio – Geoquímica e Petrogénese de Rochas Granitóides. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa. Classe de Ciências. Tomo XXXIX. Lisboa, p.53-95.
- NEVES, L.J.P.F.(1991). *Transferências de matéria e energia na interface granitóides biotíticos porfiróides – granitóides moscovítico-biotíticos na região de Torreira (Viseu, Portugal Central)*. Unpublished Ph.D Thesis, Universidade de Coimbra, p. 240.
- NIEDA, J. R. (1994). *Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria*. Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales – Los trabajos prácticos, 2, p.15-20.
- OEN, I. S. (1958). *The geology, petrology and ore deposits of the Vizeu region, northern Portugal*. Comum. Serv. Geol. Portugal (Lisboa), 41, p.1-199.
- OEN, I. S. (1970). *Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal*. Bol. Geol. Minero, 81, p. 157-184.

- OLIVEIRA, T. (1984). *Esquema para uma aula de campo*. *Geonovas*, 6, p.45-46.
- ORION, N. (1989). *Field Trips in the Israeli high school geology curriculum*. Journal of the Earth Science Teachers Association, Vol. 14, p.25-28.
- ORION, N. (1989 a). *Development of a High-School Geology Course Based on Field Trips*. Journal of Geological Education, Vol. 37, p.13.
- ORION, N. (1993). *A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum*. School Science and Mathematics, Vol.93(6), p.325-331.
- ORION, N. (1994). *A Short-term and Long-term Study of a Science Investigation Project in Geology, Used by Non-science High School Students*. Research in Science & Technological Education, Vol. 12, N.º 2.
- ORION, N. (1998). *Implementation of new teaching strategies in different learning environments within the science education*. In O Ensino Secundário em debate, Conferência Internacional – Projectar o futuro: políticas, currículos, práticas. 1ª ed.. Departamento do Ensino Secundário Ministério da Educação. p. 125-139.
- ORION, N. (2001). *A Educação em Ciências da Terra: da teoria à prática – implementação de novas estratégias de ensino em diferentes ambientes de aprendizagem*. In Geociências nos currículos dos Ensinos Básico e Secundário. Centro de Investigação Didáctica e Tecnologia na Formação de Formadores e Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro. p. 93-114.
- ORION, N. & HOFSTEIN (1991). *The Measurement of Students' Attitudes Towards Scientific Field Trips*. Science Education Assessment Instruments, Vol. 75 (5), p. 513-523.
- ORION, N. & HOFSTEIN (1994). *Factors that Influence learning during a Scientific Field Trip in a Natural Environment*. Journal of Research in Science Teaching, Vol. 31, N.º 10, p. 1097-1119.
- ORTEGA, L.A. & GIL IBARGUCHI, J.I. (1989). *The genesis of late Hercynian granitoids from Galicia (Northwestern Spain): Inferences from REE studies*. J. Geol., 98, p. 189 – 211.
- PATRÍCIO, M.M. (2001). *História Geológica do Sinclinal do Buçaco - Aplicações Didácticas*. Dissertação de Mestrado em Ensino da Geologia e Biologia (não publicada), Universidade de Aveiro, Aveiro.
- PEDRINACI, E.; SEQUEIROS, L. & GARCÍA de la TORRE, E. (1994). *El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología*. *Alambique* - Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.2, p.37-45.
- PEDRINACI, E., JAÉN, M. J. & BRUSI, D. (2004). *¿Qué ha cambiado en la didáctica de la geología en las dos últimas décadas?*. *Alambique* – Didáctica de las Ciencias Experimentales, 41, p.89-98.
- PEDROSA, C. (2000) *Da Célula ao Universo - Ciências da Terra e da Vida - 11º ano*, Texto Editora, Lisboa.
- PEREIRA, E. (1988). *Soco Hercínico da Zona Centro-Ibérica - Evolução Geodinâmica*. *Geonovas*, Vol.10, Lisboa, p.13-35.

- PINTO, M.S.; CASQUET, C.; IBARROLA, E.; CARRETGÉ, L.G. & PORTUGAL FERREIRA, M.(1987). *Síntese geocronológica dos granitóides do Maciço Hespérico*. In Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J.C., López Plaza, M., Rodríguez Alonso, M.D. (Eds.), Geologia de los Granitóides e Rocas Asociadas del Macizo Hespérico. Editorial Rueda, Madrid, p.69-86.
- PLUMMER, C.C.; McGEARY, D. & CARLSON, D. (1999). *Physical Geology*, 8ªEd. WCB McGram-Hill, Boston.
- PLUMMER, C.C.; McGEARY, D. & CARLSON, D. (2003). *Physical Geology*, 9ªEd. McGram-Hill, Boston, p.283-311.
- PRAIA, J. & MARQUES, L. (1997). *Para uma Metodologia do Trabalho de Campo: contributos da Didáctica da Geologia*. *GEologos*, n.1, p.27-33.
- PRAIA, J. & MARQUES, L. (1998) *Educação em Geociências em Portugal. Contributos para uma análise dos currículos dos 7º e 10º anos*. Comunicações. Acta do V Congresso Nacional de Geologia. Tomo 84, Fascículo 2, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, p.16-19.
- PRESS, F. & SIEVER, R. (1997). *Understanding Earth*, 2ª Ed., W.H. Freeman and Company, New York. p.73-103.
- PRESS, F. & SIEVER, R. (2001). *Understanding Earth*, 3ªEd., W.H. Freeman and Company, New York. p.329-355
- PRIEM, H.N.A., BOELRIJK, A.I.M., VERSCHURE, R.H., HEBEDA, E.H. et VERDUMEU, E.A. (1970). *Dating events of acid plutonism through the Paleozoic of the W Iberian Peninsula*. *Ecol. Geol. Helv.* (Lausanne), 63 (1), p.255-274.
- PRIETO, R.H. & VILLASÁN, C.S. (1998). *Las ciencias fuera del aula: consideraciones generales*. *Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.18, p.53-61
- REAVY, R. J. (1989). *Structural controls on metamorphism and syn-tectonic magmatism: The portuguese Hercynian collision belt*. *J. Geol. Soc. London*, 146, p. 649-657.
- REBELO, D. (1998). *O Trabalho de Campo em Geociências na Formação de Professores*. Dissertação de Mestrado em Supervisão na Área de Especialidade em Ciências (inérita). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- REBELO, D. & MARQUES, L. (2000). *O Trabalho de Campo em Geociências na Formação de Professores: Situação exemplificativa para o Cabo Mondego*. Unidade de Inv. Didáct. e Tecnol. na Formação de Formadores, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- REBELO, D. & MARQUES, E. (2004). *Novas finalidades para a Educação em Ciência*. Comunicação apresentada num *Workshop* “O Ensino da Geologia no contexto dos Actuais Currículos”. Aveiro: Departamento de Didáct. e Tecnol. Educativa, Universidade de Aveiro, p. 8.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M.T.; FERREIRA, M.P.; ROCHA, R.B. *et al* (1979). *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- RIBEIRO, A.; IGLÉSIAS, M.; RIBEIRO, M.L. & PEREIRA, E. (1983). *Modèle géodynamique des Hercynides Ibériques*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, t. 69,fasc. 2, p. 291-293.

RIBEIRO, A.; QUESADA, C. & DALLMEYER, R.D. (1990). *Geodynamic Evolution of the Iberian Massif*. in Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.). *Pré-Mesozoic Geology of Iberia*. Berlin: Springer-Verlag, p.399-409.

RIBEIRO, M. L. (2001). *Modelos de implantação dos granitos variscos portugueses*. In Colóquio – Geoquímica e Petrogénese de Rochas Granitóides. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa. Classe de Ciências. Tomo XXXIX. Lisboa, p.3-52.

RUTTER, J.M. & WYLLIE, P.J. (1988). *Melting vapour absent tonalite and 10 kb to simulate dehydrating melting in the deep crust*. Nature, 331, p. 159 – 160.

SAN JOSE, M.A.; PIEREN, A.P. *et al* (1990). *Central Iberian Zone. Autochthonous Sequences: Ante-Ordovician Stratigraphy*. In *Pré-Mesozoic Geology of Iberia*. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p.147-157.

SCHERMERHORN, L. J. (1956). *Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire – S. Pedro de Sul – Sátão region*. Comun. Serv. Geol. Portugal, t. 70 (1), p. 23-30.

SENABRE, M. J. C. & CHIRAL, D. M. (1998). *El valor del trabajo cooperativo, la gestión del aula en pequeños grupos*. *Alambique* - Didáctica de las Ciencias Experimentales, 18, p.93-104.

Serviços Geológicos de Portugal (1990). *Carta Geológica de Portugal 1:50000 – Folha 17-B (Fornos de Algodres)*, Ministério da Indústria e Energia, , Lisboa.

SHAW, D.M. (1970). *Geochim.* Cosmochim. Acta, 34, p. 237-243.

SILVA, A.; LEITE, A.; MARQUES, L. & PRAIA, J. (1997). *Para uma Didáctica da Aula de Campo em Geologia*. In Didáticas. Metodologias da Educação, departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, Braga, p. 3-13.

SILVA, A. D.; GRAMAXO, F.; SANTOS, M.; MESQUITA, A. & BALDAIA, L. (1994). *Terra, Universo de Vida – 2ª parte - Geologia*. (Ciências da Terra e da Vida – 11º ano), Porto Editora.

SILVA, A. D.; GRAMAXO, F.; SANTOS, M.; MESQUITA, A. & BALDAIA, L. (2000). *Terra, Universo de Vida – 2ª parte - Geologia*. (Ciências da Terra e da Vida – 11º ano), Porto Editora.

SILVA, A. D.; GRAMAXO, F.; SANTOS, M.; MESQUITA, A.; BALDAIA, L. & FÉLIX, J. (2004). *Terra, Universo de Vida – 2ª parte - Geologia*. (Biologia e Geologia – 11º ano), Porto Editora, p. 100-127.

SILVA, M.M.V.G.; MADEIRA, M.F.A. & MARTINS, H.C.A.C. (1998). *As rochas aflorantes na área de Leiria - Uma aula de campo para os alunos do Ensino Básico e Secundário*. In Acta do V Congresso Nacional de Geologia, 84, Fascículo 2, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, p.27-29.

SILVA, M.M.V.G. & NEIVA, A.M.R. (2000). *Geochemistry of Hercynian peraluminous granites and their minerals from Carregal do Sal – Nelas – Lagares da Beira area, central Portugal*. Chem. Erde, 59, p.329-349.

SILVA, M. M. V. G. (2001). *Origens de diferentes tipos de encraves que ocorrem em granitóides*. In Colóquio – Geoquímica e Petrogénese de Rochas Granitóides. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa. Classe de Ciências. Tomo XXXIX. Lisboa, p.97-119.

- SOUSA, M. B. (1985). *Perspectiva sobre os conhecimentos actuais do complexo xisto-grauváquico de Portugal*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, nº100.
- SPARKS, R. S. J. & MARSHALL, L. A. (1986). *Thermal and mechanical constraints on mixing between mafic and silicic magmas*. J. Vol. Geot. Res., 29, 99-124.
- STILLE, H. (1924). *Grundfragen der Vergleichenden Tektonik*. Borntraeger, Berlin.
- STRECKEISEN, A. (1976). *To each plutonic rock its proper name*. Earth Sci. Reviews, n.º12, p. 1-33.
- SWITZER, P. V. (1995). *Campus field trips: an effective supplement to classroom instruction*. Journal of College Science Teaching, XXV, p140-143.
- TAYLOR, S.R. & MCLENNAN (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, Geosciences Texts, Oxford, p. 312.
- TEIXEIRA, C. (1942). *Os Movimentos Hercínicos na Tectónica Portuguesa. Separata do Bol. Soc. Geol. de Portugal*, Vol. I, Fasc.II., Porto, p.5-20.
- TEIXEIRA, C.; CÂNDIDO DE MEDEIROS, A.; PILAR, A.; CARVALHOSA, A. & FERRO, M.N. (1963a). *Carta Geológica de Portugal 1/50 000 – Notícia Explicativa da Folha 18-A (Vila Franca das Naves)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TEIXEIRA, C.; MARTINS, J. ÁVILA; CÂNDIDO DE MEDEIROS, A.; PILAR, L.; PINTO DE MESQUITA, L. & FERRO, M.N. (1963b). *Carta Geológica de Portugal 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 18-C (Guarda)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TEIXEIRA, C.; BRITO de CARVALHO, L.H.; PAULA SANTOS, J.; PERES, A.M., BARROS, R.F.; PILAR, L.; FERNANDES, A.P. & TAVARES ROCHA, A. (1967). *Carta Geológica de Portugal 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 17-D (Gouveia)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TEIXEIRA, C.; CÂNDIDO DE MEDEIROS, A. & PEINADOR FERNANDES, A. (1969). *Carta Geológica de Portugal 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 14-A (Lamego)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TEIXEIRA, C.; PAULA SANTOS, J.; CARVALHO, H.F.; FERNANDES, A.P. & VAIRINHO, M.M. (1974). *Carta Geológica de Portugal 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 20-B (Covilhã)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- THOMPSON, D.B. (1982). *Conservation, planning and other issues relating to the geology of the construction of highways across areas underlain by pebble beds of the Sherwood sandstone group*. Mercian Geologist. V.8, n.4, p. 271-284.
- TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L. (1958). *Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{H}_2\text{O}$* . Geol. Soc. America, Memoirs, 74, p.157.
- UGIDOS, J.M. (1990). *Central Iberian Zone. Autochthonous Sequences: Granite as a Paradigm of genetic Processes of Granitic Rocks: I-Types vs S-Types*. In Pré-Mesozoic Geology of Iberia. Dallmayer, R. D. & Martinez Garcia, E. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p.207-210.

VALLE AGUADO, B. (1992). *Geología estructural de la Zona de Cizalla de Porto-Tomar en la región de Oliveira de Azeméis – Serra de Arada (Norte de Portugal)*. Tesis Doctoral (inédita), Univ. De Salamanca, Salamanca.

VALLE AGUADO, B.; AZEVEDO, M.R.; SCHALTEGGER, U.; MARTÍNEZ CATALÁN, J.R. & NOLAN, J. (2005). *U-Pb zircon and monazite of Variscan magmatism related to syn-convergence extension in central northern Portugal*. Lithos, 82, p. 169-184

VERA, J. A. (2004). *Geología de España*. Ed. Plal. – Madrid: Sociedade Geológica de España; Instituto Geológico Y Minero de España.

VERNON, R. H. (1983). *Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites*. R. Soc. New South Wales, 116, 77-103.

VERNON, R. H. (1986). *K-Feldspar megacrysts in granites - phenocrysts, not porphyroblasts*. Earth Science Reviews, 23, p. 1-63

VERNON, R. H. (1991). *Interpretation of microstructures of microgranitoid enclaves.. In Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology 13*. Didier, J. & Barbarin, B., Elsevier, Amsterdam.

VERNON, R. H.; ETHERIDGE, M. A. & WALL, V. J. (1988). *Shape and microstructure of microgranitoid enclaves: indicators of magma mingling and flow*. Lithos, 22, 1-11.

VIELZEUF, D. & HOLLOWAY, J.H.(1988). *Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system*. Contrib. Mineral. Petrol., 98, p. 257 – 276.

VILCHES, A.; SOLBES, J. & GIL, D. (2004) *Alfabetización científica para todos contra ciencia para futuros científicos*. Alambique – Didácticas de las Ciencias Experimentales. N.41. p. 89-98.

WALLACE; SPENCER & PITCHER (1997). *The nature and origin of granite*, 2ªEd., Chapman & Hall, London.

WINKLER, H.G.F. (1976). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag, New York, p.237.

WHITE, A.J.R. & CHAPPELL, B.W. (1977). *Ultrametamorphism and granitoid genesis*, Tectonophysics, 43, p.7 -22.

WHITE, W. M. (1997-1999) – *Geochemistry*. Cornell University, 694p.
<http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/geo455/Geo455.html>

WYLLIE, P.J. (1977). *Crustal anatexis: an experimental review*. Tectonophysics, 43, p. 41- 71.

WYLLIE, P.J. (1983). *Experimental studies on biotite- and muscovite- granites and some crustal magmatic sources*. In: ATHERTON, M.P. &GRIBLE, C.D. (eds.) *Migmatites, Melting and Metamorphism*. Shiva Geology Series, p. 12-26.

YUSTE, F. SANFÉLIX (1995). *Alfabetización Científico-Tecnológica: una aproximación a partir de Conocimientos Declarativos*. (Tesis de Licenciatura). Universitat de Valencia. Facultade de Psicologia.

ZABALA, A. (2001). *A Avaliação da aprendizagem no currículo escolar: uma perspectiva construtivista*. In Coll, C., Martín, E., Mauri, T., Miras, M., Onrubia, J., Sole, I. & Zabala, A. *O construtivismo na sala de aula. Novas perspectivas para a acção pedagógica*. Porto: Edições ASA, p.196-215.

5ª Jornadas sobre o Ensino das Ciências (2005). Escola Secundária /3 de Tondela.

ANEXOS

ANEXO A

Tabelas de Análises Químicas

Analises Químicas das amostras recolhidas na Pedreira do Monte da Carrascas, realizadas no Actlabs (Canadá) - CODE 4LITHO-MAJ ELEM FUS ICP (WRA.REV2).

Amostra		1	3	4	5a	5b	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16a	16b	16c
SiO ₂	%	70,89	71,64	74,2	68,02	63,2	69,51	67,06	68,55	68,14	68,43	69,71	63	62,87	68,75	62,03	70,1	68,38
Al ₂ O ₃	%	14,4	14,24	13,66	14,97	15,5	14,47	15,06	14,54	14,63	14,63	14,22	15,2	15,18	14,35	15,66	14,38	15,57
Fe ₂ O ₃	%	3,23	2,66	1,28	4,19	6,95	3,63	4,75	4	3,9	4,04	3,09	7,05	6,84	3,92	7,27	3,74	3,24
MnO	%	0,054	0,045	0,023	0,068	0,101	0,053	0,07	0,06	0,056	0,06	0,048	0,101	0,09	0,051	0,09	0,054	0,048
MgO	%	0,72	0,58	0,31	1,24	2,11	1,09	1,46	1,18	1,1	1,39	1,01	2,22	2,21	1,33	2,22	1,01	0,87
CaO	%	1,75	1,33	0,9	2,75	3,09	2,09	2,6	2,29	2	2,12	1,77	3,04	2,91	2,21	3,03	2,16	1,94
Na ₂ O	%	3,6	3,25	3,25	3,72	3,71	3,55	3,54	3,35	3,4	3,38	3,31	3,65	3,59	3,49	3,54	3,56	3,53
K ₂ O	%	4,11	4,93	5,26	3,21	2,68	3,59	3,32	3,61	4,2	3,83	4,01	2,71	2,67	3,37	2,7	3,15	4,6
TiO ₂	%	0,546	0,455	0,2	0,737	1,137	0,59	0,782	0,656	0,653	0,682	0,435	1,131	1,142	0,635	1,119	0,624	0,536
P ₂ O ₅	%	0,35	0,29	0,12	0,38	0,51	0,29	0,4	0,36	0,38	0,3	0,28	0,5	0,49	0,26	0,5	0,3	0,3
LOI	%	0,57	0,73	0,6	0,68	0,63	0,57	0,76	0,71	0,64	0,79	0,79	0,72	0,95	0,94	0,8	0,76	0,71
TOTAL	%	100,2	100,2	99,81	99,97	99,63	99,42	99,79	99,31	99,09	99,64	98,67	99,34	98,96	99,29	98,95	99,84	99,72
Ba	ppm	355	417	650	578	253	599	645	702	552	773	579	299	268	700	300	382	551
Sr	ppm	96	91	96	177	158	161	184	167	146	193	142	157	144	167	143	131	138
Y	ppm	24	26	18	22	34	23	24	19	24	28	19	36	36	25	43	25	23
Sc	ppm	6	5	2	7	12	8	9	7	7	7	6	13	13	8	13	7	6
Zr	ppm	200	187	142	253	338	248	302	266	243	292	216	372	320	290	337	239	220
Be	ppm	4	7	2	5	6	4	5	4	4	4	4	6	4	3	4	4	5
V	ppm	20	18	-5	36	63	30	38	31	31	34	23	61	66	35	64	26	24

Analises Químicas das amostras recolhidas na Pedreira do Monte da Carrascas, realizadas no Actlabs - CODE 4LITHO-TRACE ELEM FUS ICP/MS (WRA4B2.REV5).

PMC	1	3	4	5a	5b	6	7	8	9	10	11	13	14	15	15R	16a	16b	16c
V	23	21	6	34	63	31	34	31	32	35	26	60	65	39	38	65	33	28
Cr	25	24	-20	21	39	27	29	27	21	32	68	40	42	43	42	37	115	-20
Co	5	4	2	7	13	6	8	7	6	6	5	13	14	7	7	13	6	6
Zn	72	54	-30	42	123	63	76	70	68	61	74	123	139	68	41	201	57	58
Ga	22	21	15	19	24	19	20	21	22	19	22	22	22	18	17	22	19	20
Ge	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2
Rb	284	287	268	198	297	247	238	250	266	226	265	293	348	251	235	330	222	251
Sr	94	94	98	162	163	156	176	166	148	192	149	154	149	169	163	143	125	135
Y	25	28	20	22	36	23	24	20	25	30	21	37	39	27	25	44	25	24
Zr	205	197	145	235	355	242	290	267	247	288	233	371	343	295	289	347	230	223
Nb	21	19	11	18	27	19	20	18	20	18	17	25	26	19	18	25	19	17
Sn	13	11	10	8	12	11	10	11	11	9	12	11	15	8	8	13	10	10
Cs	20,7	19,5	10,6	13,6	25,6	11,9	15,1	17,6	12,7	16,3	13,4	15,8	42,0	10,3	9,4	23,3	12,9	13,7
Ba	329	397	642	531	257	567	616	685	563	757	591	269	260	660	646	291	349	520
La	42,3	44,9	48,2	50,5	55,5	49,4	42,2	51,9	37,1	56,1	47,0	61,8	52,9	60,6	59,8	54,8	42,4	45,7
Ce	89,1	93,6	94,0	101	112	97,5	86,4	105	74,1	113	93,6	127	108	118	117	112	86,5	94,7
Pr	9,78	10,3	9,57	11,0	12,7	10,5	9,71	11,5	8,36	12,4	10,1	14,2	12,3	12,8	12,5	12,9	9,52	10,6
Nd	36,6	38,8	34,9	42,0	50,6	39,9	38,1	43,4	33,1	47,5	37,3	55,4	49,0	47,3	46,2	51,3	36,5	38,8
Sm	7,8	8,3	6,8	8,0	10,2	7,8	7,6	7,9	6,7	9,0	6,6	11,3	10,1	8,6	8,4	10,6	7,4	7,8
Eu	0,90	0,95	0,76	1,30	1,22	1,05	1,21	1,19	1,04	1,17	0,88	1,31	1,11	1,21	1,17	1,17	0,98	1,14
Gd	6,6	7,1	5,4	7,0	9,1	6,3	6,4	6,2	6,0	7,0	5,0	9,7	9,1	7,0	6,7	9,7	6,4	6,4
Tb	1,0	1,1	0,8	0,9	1,4	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	0,7	1,4	1,4	1,0	0,9	1,5	0,9	0,9
Dy	4,7	5,0	3,6	4,3	6,6	4,5	4,6	3,9	4,4	5,2	3,5	7,1	7,2	4,9	4,7	7,9	4,6	4,4
Ho	0,8	0,9	0,6	0,7	1,2	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,6	1,3	1,3	0,9	0,8	1,5	0,8	0,8

PMC	1	3	4	5a	5b	6	7	8	9	10	11	13	14	15	15R	16a	16b	16c
Er	2,4	2,7	1,9	2,2	3,3	2,3	2,4	1,8	2,4	3,0	2,0	3,8	3,9	2,6	2,5	4,4	2,5	2,3
Tm	0,35	0,41	0,28	0,29	0,48	0,34	0,34	0,24	0,37	0,46	0,30	0,55	0,59	0,38	0,36	0,69	0,37	0,31
Yb	2,1	2,5	1,8	1,7	2,8	2,3	2,1	1,5	2,4	2,7	1,8	3,3	3,5	2,3	2,2	4,0	2,0	1,7
Lu	0,32	0,37	0,30	0,28	0,42	0,35	0,31	0,24	0,36	0,38	0,28	0,50	0,51	0,35	0,33	0,57	0,28	0,24
Hf	4,9	4,8	3,9	5,3	7,6	5,6	6,3	5,9	5,7	6,8	5,3	8,0	7,2	6,5	6,5	7,5	5,2	5,1
Ta	2,5	2,1	1,2	1,6	1,9	2,1	1,7	1,7	2,1	1,7	1,8	1,6	1,6	1,3	1,3	1,6	1,7	1,5
Tl	2,7	1,9	1,9	1,5	2,9	2,5	2,4	2,0	2,4	2,0	2,5	3,0	3,0	2,1	1,5	2,5	1,9	2,5
Pb	17	10	12	7	10	16	11	9	12	15	16	10	16	11	7	-5	9	22
Th	18,3	19,5	22,0	23,1	16,4	17,5	12,1	19,1	14,8	22,0	17,4	15,6	12,8	18,4	18,5	14,9	16,9	20,3
U	8,7	13,6	7,0	7,6	6,5	7,6	7,7	22,6	7,1	7,2	9,1	6,8	15,2	6,0	5,7	20,0	8,9	7,3

Os valores dos elementos traço estão em **ppm**. Os valores negativos estão abaixo do limite de detecção.

Analises cedidas pelos investigadores da U.A. no âmbito do Projecto PRAXIS
2/2.1/CTA/391/94 (1996-1999) - "Origem, Evolução e Instalação de Granitóides
Hercínicos (ZCI, Portugal): Inferências sobre a Composição e Dinâmica da Crusta".

Elementos Maiores e Menores

Local - Tipo	Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL	Fe ₂ O ₃	FeO	Ba	Sr	Y1
F-V_CPBG	7	68,57	0,57	14,82	3,65	0,06	0,90	1,94	3,49	4,63	0,23	0,43	99,29	0,38	2,94	480	125	32,0
F-V_CPBG	11	70,35	0,75	13,45	4,75	0,07	1,20	2,33	3,23	3,25	0,30	0,46	100,1	0,50	3,82	285	115	55,9
F-V_CPBG	20	69,58	0,60	14,32	3,98	0,06	0,98	2,14	3,32	4,51	0,25	0,45	100,2	0,46	3,17	520	135	33,8
F-V_CPBG	37	67,66	0,61	15,05	3,96	0,06	0,99	2,28	3,66	4,20	0,25	0,41	99,13	0,33	3,27	515	150	34,2
F-V_CPBG	39	69,78	0,63	14,29	4,00	0,06	1,01	2,10	3,33	4,27	0,26	0,46	100,2	0,39	3,25	465	130	36,7
F-V_CPBG	40	72,74	0,25	14,00	2,00	0,04	0,40	1,03	3,27	4,88	0,19	0,63	99,43	0,27	1,56	335	80	22,3
F-V_CPBG	80	71,98	0,30	14,89	1,88	0,04	0,51	1,30	3,08	6,26	0,15	0,45	100,8	0,05	1,65	705	120	24,4
F-V_CPBG	103	70,28	0,62	14,02	4,05	0,06	1,01	2,00	3,26	4,27	0,26	0,43	100,3	0,27	3,40	415	120	34,6
F-V_CPBG	163	70,08	0,41	15,37	2,77	0,05	0,68	1,36	3,14	5,26	0,25	0,73	100,1	0,25	2,27	435	95	25,9
F-V_CPBG	169	67,69	0,71	14,98	4,45	0,06	1,08	2,41	3,57	4,31	0,28	0,36	99,90	0,34	3,70	535	150	32,1
F-V_CPBG	178	71,39	0,36	14,29	2,27	0,04	0,55	1,24	3,35	4,78	0,24	0,56	99,07	0,14	1,92	365	85	21,7
F-V_CPBG	182	71,36	0,41	14,70	2,69	0,04	0,65	1,58	3,32	5,30	0,22	0,43	100,7	0,07	2,36	640	120	25,9
F-V_CPBG	190	69,17	0,50	14,99	3,12	0,04	0,74	1,24	3,18	5,60	0,24	0,56	99,38	0,00	2,92	510	100	28,4
F-V_CPBG	191	71,27	0,48	13,87	2,95	0,04	0,71	1,46	3,37	4,18	0,24	0,61	99,18	0,23	2,45	285	100	31,3
F-V_CPBG	192	70,76	0,52	14,10	3,09	0,05	0,73	1,32	3,18	4,82	0,27	0,73	99,57	0,17	2,63	370	90	30,7
F-V_CPBG	193	71,97	0,41	14,22	2,73	0,03	0,63	1,25	3,23	4,71	0,26	0,65	100,1	0,02	2,44	320	80	24,4
F-V_CPBG	196	71,94	0,39	13,93	2,54	0,04	0,59	1,38	3,43	4,63	0,14	0,50	99,51	0,06	2,23	310	95	35,1
F-V_CPBG	207	74,06	0,17	14,12	1,48	0,03	0,36	0,75	3,41	5,22	0,22	0,69	100,5	0,30	1,06	250	55	18,7
F-V_CPBG	215	70,39	0,43	14,52	2,90	0,05	0,68	1,71	3,58	4,71	0,14	0,43	99,54	0,24	2,39	390	110	32,6
F-V_CPBG	179-15	69,99	0,57	14,22	3,74	0,06	0,89	2,11	3,43	4,30	0,26	0,50	100,1	0,45	2,96	440	125	30,0
F-V_CPBG	188-7	67,03	0,64	15,34	4,39	0,05	0,85	1,67	3,28	5,44	0,26	0,65	99,60	0,40	3,59	440	100	30,0
F-V_Int-Aci	190-6	64,57	1,03	15,69	5,68	0,08	1,55	3,05	3,63	3,73	0,37	0,50	99,88	0,56	4,61	690	190	30,0
F-V_Int-Aci	190-7	66,22	0,70	15,56	4,06	0,05	1,36	2,58	3,14	5,53	0,36	0,43	99,99	0,38	3,31	1180	280	20,0
F-V_Int-Aci	190-10	62,56	0,73	16,94	6,00	0,09	1,43	2,77	3,99	4,72	0,48	0,53	100,2	0,44	5,00	685	235	45,0
F-V_Int-Aci	190-11	65,35	0,66	15,30	5,91	0,08	1,18	2,52	3,46	4,31	0,35	0,86	99,98	0,41	4,95	620	250	35,0
F-V_Int-Aci	190-12	65,56	0,70	15,78	4,79	0,08	2,29	3,68	4,09	2,15	0,35	0,89	100,4	0,00	4,45	400	455	30,0
F-V_Int-Aci	190-13	65,08	0,77	15,69	4,99	0,07	2,21	3,54	3,77	2,66	0,35	0,68	99,81	0,00	4,53	670	500	30,0
F-V_Int-Aci	55	60,12	1,19	16,25	6,80	0,10	2,83	4,84	3,69	3,13	0,29	0,54	99,78	1,19	5,05	700	285	32,5
F-V_Int-Aci	237	58,75	1,47	16,00	7,80	0,11	2,61	4,31	3,63	3,40	0,37	0,65	99,10	0,75	6,34	550	245	47,7
F-V_Int-Aci	179-1	61,59	1,27	15,72	6,94	0,10	2,29	4,27	3,61	3,46	0,35	0,32	99,92	1,09	5,26	615	260	40,0
F-V_Int-Aci	190-1	61,35	1,23	15,74	6,50	0,09	2,23	4,25	3,77	3,60	0,33	0,40	99,49	0,70	5,22	590	255	40,0
F-V_Int-Aci	190-2	60,84	1,33	15,85	6,79	0,12	2,28	4,57	3,87	3,29	0,34	0,52	99,80	0,89	5,31	530	250	45,0
F-V_Int-Aci	190-3	60,07	1,00	17,08	6,42	0,09	2,08	5,32	3,98	2,98	0,27	0,72	100,0	1,06	4,82	495	285	30,0
F-V_Int-Aci	190-8	61,47	1,16	15,98	6,87	0,11	2,32	4,17	3,48	3,71	0,33	0,53	100,1	1,00	5,28	725	255	35,0
F-V_Int-Aci	190-14	63,87	1,08	15,64	6,12	0,08	1,92	3,45	3,82	3,10	0,34	0,51	99,93	0,94	4,66	420	215	20,0
F-V_Int-Aci	177-5B	68,92	0,66	14,58	4,05	0,06	1,00	1,92	3,38	4,70	0,29	0,50	100,1	0,65	3,06	470	150	30,0
F-V_Int-Aci	177-8B	61,07	1,11	17,26	5,81	0,08	2,08	4,56	3,92	3,56	0,39	0,64	100,5	0,95	4,37	680	390	30,0
F-V_Int-Aci	188-1	69,78	0,51	14,56	3,55	0,05	0,82	2,00	3,29	4,81	0,21	0,45	100,0	0,31	2,92	510	120	30,0
F-V_Int-Aci	188-12	69,43	0,64	14,40	4,34	0,08	0,99	2,26	3,33	3,89	0,27	0,48	100,1	0,29	3,64	450	135	25,0
F-V_Int-Aci	188-17	68,93	0,65	14,82	3,87	0,06	1,24	1,81	3,16	4,61	0,34	0,84	100,3	1,65	2,00	680	270	30
F-V_Int-Aci	177-2	65,31	1,05	15,39	5,28	0,07	1,41	2,95	3,35	4,50	0,46	0,27	100,0	0,67	4,15	835	270	35,0
F-V_Int-Aci	177-8A	60,52	1,48	15,61	7,20	0,11	2,47	4,42	3,34	3,62	0,45	0,73	99,95	1,25	5,35	800	330	32,0
F-V_Int-Aci	177-11	59,18	1,41	16,34	7,36	0,11	3,14	5,61	3,32	3,12	0,40	0,65	100,6	0,91	5,80	750	440	30,0
F-V_Int-Aci	188-6	57,92	1,16	16,75	7,15	0,10	3,88	6,00	3,61	2,71	0,30	0,36	99,94	0,62	5,88	800	550	30,0
F-V_Int-Aci	188-21	56,88	1,17	16,73	7,44	0,12	3,99	6,45	3,56	2,72	0,27	0,59	99,92	1,08	5,72	680	530	30
Vis_Gabros	188-4	52,94	0,73	18,26	6,54	0,11	6,68	10,00	3,07	0,79	0,13	0,99	100,2	0,93	5,05	250	535	15,0

Vis_Gabros	188-22	52,63	0,53	17,53	6,20	0,12	7,91	11,66	2,68	0,55	0,07	0,70	100,6	0,78	4,88	180	525	10,0
Local - Tipo	Amostra	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3t	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	TOTAL	Fe2O3	FeO	Ba	Sr	Y1
Vis_Gabros	188-23	53,21	0,78	18,06	6,69	0,12	6,96	9,81	3,03	0,88	0,11	1,36	101,0	0,73	5,36	255	530	13,0
Vis_Gabros	188-8	52,64	0,56	18,49	5,91	0,11	7,31	11,02	2,82	0,55	0,09	0,97	100,5			190	550	10,0
Vis_Gabros	188-9	52,72	0,55	18,40	6,10	0,11	7,50	10,88	2,79	0,57	0,09	0,75	100,5			190	550	10,0
F-V_MME	8X-1	65,64	0,63	15,71	4,70	0,06	1,67	2,98	3,90	2,41	0,26	0,70	98,66	0,32	3,94	770	280	37,2
F-V_MME	8X-2	61,42	1,19	16,01	7,19	0,10	2,67	3,24	3,32	2,93	0,31	0,77	99,15	0,61	5,92	260	180	39,8
F-V_MME	37X-2	66,31	0,75	15,15	5,04	0,09	1,31	2,60	3,45	3,83	0,35	0,51	99,39	0,38	4,19	455	160	33,2
F-V_MME	80X	64,77	1,10	14,88	6,80	0,10	1,56	2,54	3,65	2,38	0,31	0,76	98,85	0,34	5,81	120	85	40,9
F-V_MME	169X-1	63,28	1,45	15,01	8,18	0,11	2,17	3,12	3,59	2,71	0,35	0,36	100,3	0,87	6,58	210	125	37,6
F-V_MME	182X-1	68,08	0,79	14,71	5,22	0,07	1,45	2,52	4,03	2,23	0,26	0,41	99,77	0,44	4,30	140	100	33,0
F-V_MME	182X-2	65,12	0,86	15,62	5,43	0,07	1,67	3,04	4,00	2,17	0,29	0,60	98,87	0,18	4,72	185	160	31,8
F-V_MME	228X	61,33	1,42	15,17	8,42	0,13	2,18	2,97	3,67	2,80	0,41	0,56	99,06	0,59	7,05	145	100	50,0
F-V_MME	238X	62,73	1,50	15,40	6,78	0,10	1,76	3,45	3,61	2,29	0,37	0,54	98,53	0,10	6,01	270	170	40,5
F-V_MME	239X	63,86	0,80	16,57	4,98	0,06	1,19	2,59	4,19	3,79	0,23	0,72	98,98	0,33	4,18	550	180	31,5
F-V_MME	240X-1	63,02	1,08	15,64	5,95	0,12	2,98	4,44	3,44	2,29	0,28	0,64	99,88	0,78	4,65	475	265	33,4
F-V_MME	246X	63,01	1,24	15,24	7,43	0,09	1,86	2,77	3,76	2,54	0,32	0,69	98,95	0,64	6,11	115	90	45,6
F-V_MME	247X	63,75	1,08	15,22	6,99	0,15	1,73	3,20	3,90	2,53	0,48	0,76	99,79	0,59	5,76	225	110	40,4
F-V_MME	190-7E	61,35	1,12	15,72	6,63	0,09	3,34	4,03	3,80	2,85	0,41	0,62	99,96	0,31	5,69	450	385	25,0
F-V_MME	190-10E	62,10	0,79	15,56	6,40	0,10	3,76	3,76	3,23	2,83	0,46	0,84	99,83	0,00	5,84	1130	770	30,0
F-V_MME	190-11E	61,98	0,77	15,48	5,71	0,11	3,72	5,38	3,35	1,94	0,44	0,90	99,78	0,40	4,78	1130	1010	30,0
F-V_MME	177-5A	65,85	1,11	15,41	5,84	0,09	1,45	3,15	4,03	2,40	0,42	0,61	100,4	0,72	4,61	330	200	35,0

Elementos Traço

Amostr	Y	Sc1	Sc	Zr	Be1	V1	Cr	Co	Zn	Rb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf1	Hf
7		8,2		210	6,80	40	10	5	70	287														
11		11,1		230	4,20	80	20	10	80	232	52,1	113	13,2	49,5	10,5	0,87	8,85	8,45	1,68	5,21	4,69	0,64		
20		8,2		200	5,40	60	10	10	70	242	36,8	78,7	9,3	35,7	7,55	1,12	6,36	5,83	1,12	3,19	2,90	0,40		
37		9,8		210	4,80	40	10	5	70	234														
39		9,4		250	4,00	50	10	10	70	258														
40		3,6		110	8,60	20	0	0	60	375														
80		5,0		110	4,00	20	10	5	90	266														
103		8,8		250	5,60	40	10	10	70	255														
163		6,0		160	9,60	20	40	5	80	323	33,5	73,0	8,8	33,0	6,88	0,81	5,56	4,51	0,82	2,32	2,19	0,31		
169		9,3		260	4,40	50	10	10	100	215														
178		3,6		160	8,20	20	10	5	60	304	30,3	66,0	7,8	29,5	6,33	0,70	5,14	4,33	0,79	2,30	2,16	0,31		
182		4,9		180	4,80	30	20	10	40	270	33,3	71,8	8,6	31,9	6,85	0,95	5,71	5,08	0,98	2,86	2,71	0,38		
190		5,3		170	8,40	30	10	0	90	337														
191		5,0		180	3,00	20	10	5	60	280	38,2	84,1	10,2	38,1	8,18	0,71	6,62	5,34	0,97	2,73	2,52	0,36		
192		6,1		200	3,60	30	10	5	70	300														
193		4,4		160	4,20	40	20	5	60	295	34,8	76,2	9,2	34,7	7,48	0,64	6,11	4,89	0,87	2,39	2,20	0,31		
196		5,5		140	4,40	30	10	5	40	269	33,7	73,6	8,8	32,7	7,14	0,70	6,12	5,88	1,11	3,41	3,81	0,55		
207		1,3		110	6,20	10	10	5	50	328	20,7	46,4	5,5	20,2	4,69	0,36	3,94	3,50	0,62	1,65	1,45	0,21		
215		5,6		190	6,00	40	10	5	40	276														
179-15	29,6	8,0	8,5	210	5,00	30	40	15	65	230	38,1	84,5	9,7	35,4	7,60	1,10	6,90	5,60	1,20	3,20	2,80	0,42		5,7
188-7		10,0		290	6,00	50	20	15	80	346														
190-6		10,0		340	3,80	85	20	15	75	196														
190-7	18,4	5,0	5,98	320	3,20	55	15	15	50	189	27,2	58,4	6,9	24,3	5,12	1,49	4,46	3,56	0,74	1,98	1,65	0,26		5,56
190-10	42,3	8,0	9,84	340	5,60	40	15	15	100	295	18,0	44,6	6,4	25,9	8,29	1,22	9,40	8,96	1,75	4,32	3,15	0,46		8,14
190-11	32,5	7,0	7,95	325	5,00	60	15	15	90	231	13,9	32,1	4,4	17,9	5,76	1,14	6,70	6,72	1,33	3,34	2,51	0,37		7,53
190-12	32,5	10,0	7,95	260	7,00	75	55	15	80	189	65,6	140	16,4	62,2	11,1	1,48	8,12	6,35	1,25	3,25	2,85	0,39		7,53
190-13		10,0		290	5,80	80	55	15	85	184														
55		16,1		260	3,40	100	60	20	90	160	35,5	77,3	8,9	34,8	7,17	1,5	6,1	5,2	1	2,8	2,5	0,4		
237		17,9		230	4,40	130	30	55	100	189														
179-1		15,0		190	3,20	100	20	15	80	148														
190-1		15,0		330	3,40	115	30	15	70	155														
190-2		18,0		285	5,20	160	35	15	120	165	38,8	90,0	11,1	46,2	10,6	1,85	9,49	8,66	1,72	4,61	4,07	0,58		
190-3		14,0		250	3,80	170	15	15	90	140														
190-8	36,5	10,0	10,9	310	3,40	100	15	15	70	169	44,3	85,2	10,2	39,7	8,41	1,48	7,41	7,16	1,43	3,89	3,40	0,49		5,60
190-14		10,0		245	3,80	95	15	15	70															
177-5B	28,6	9,0	9,45	230	4,50	25	25	15	70	268	44,4	96,5	11,9	41,1	8,49	1,12	6,73	5,57	1,10	2,94	2,77	0,40	28,6	5,74
177-8B	29,9	10,0	11,4	265	3,50	80	40	15	80	146	57,7	126	15,9	55,1	10,4	2,14	7,98	5,95	1,22	3,19	2,94	0,43	29,9	6,78
188-1		10,0		230	4,00	70	30	15	60	251														
188-12	28,8	10,0	9,67	330	3,20	40	15	15	70	200	54,4	120	13,3	50,5	10,0	1,21	8,24	6,09	1,18	2,99	2,29	0,33		6,48
188-17		10,0		200	6,40	70	15	15	80	253														
177-2	31,6	10,0	10,3	370	4,20	70	15	15	90	215	72,1	156	18,4	68,0	12,2	1,72	8,63	6,41	1,30	3,25	2,86	0,42		7,70
177-8A	31,4	16,0	17,1	100	3,00	140	40	15	95	166	61,6	129	16,6	59,1	11,2	1,92	8,65	6,39	1,22	3,27	2,87	0,42		2,96
177-11	26,8	17,5	18,8	100	3,00	120	40	15	85	131	54,3	109	12,0	45,9	8,60	1,95	7,00	5,30	1,10	3,00	2,60	0,39		4,7
188-6	28,5	15,0	19,7	210	2,40	150	25	15	75	118														5,40
188-21	28,2	20,0	21,2	200	2,40	160	25	15	75	148	47,4	97,3	10,8	42,5	8,07	1,82	6,84	5,59	1,16	3,19	2,82	0,42		4,83

Amostr	Y	ScI	Sc	Zr	BeI	VI	Cr	Co	Zn	Rb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	HfI	Hf
188-4	14,3	25,0	28,3	95	1,00	155	240	25	50	30	14,2	30,6	3,7	15,0	3,19	1,01	2,94	2,76	0,57	1,59	1,48	0,22		2,00
188-22	11,0	35,0	34,8	30	1,00	190	440	30	40	18	8,8	19,7	2,4	9,8	2,35	0,82	2,44	2,16	0,45	1,31	1,17	0,18		1,19
188-23		30,0		55	1,00	200	250	15	50	29														
188-8		30,0		60	0,40	100	250	20	40	23														
188-9		30,0		60	0,60	110	320	20	40	20														
8X-1		10,2		200	5,40	100	30	60	100	198														
8X-2		15,2		280	6,60	100	40	55	130	310														
37X-2		10,5		280	5,60	60	20	50	110	244														
80X		13,9		260	6,00	90	20	40	150	308														
169X-1		17,3		260	5,20	130	20	20	140	265														
182X-1		10,4		240	4,40	60	20	15	100	292														
182X-2		11,0		250	3,80	70	20	50	100	246														
228X		16,7		290	7,20	120	30	55	150	319														
238X		14,5		240	5,80	130	10	70	110	236														
239X		10,6		470	4,80	70	10	60	80	221														
240X-1		14,6		220	4,60	110	70	50	150	222														
246X		14,5		290	6,40	100	20	50	150	340														
247X		12,8		250	10,0	170	30	50	210	484														
190-7E	22,7	10,0	10,9	265	4,00	90	115	15	100	198	64,6	137	16,7	55,8	9,95	1,50	7,04	4,82	0,98	2,33	1,99	0,29		6,58
190-10E	29,5	15,0	16,1	210	5,50	125	90	15	90	268	99,2	205	25,4	87,3	14,9	1,75	9,67	6,13	1,19	3,02	2,71	0,38		5,09
190-11E	30,0	12,0	16,3	220	4,40	110	85	15	100	160	87,6	202	27,0	97,2	17,4	3,78	10,6	6,29	1,22	3,06	2,88	0,42		5,36
177-5A	38,6	12,0	13,5	270	6,50	60	30	15	95	240	75,6	163	20,3	69,3	13,1	1,26	9,79	7,65	1,51	3,94	3,57	0,52		6,66

ANEXO B

Actividades a Desenvolver
nas Aulas de Preparação

ACTIVIDADE INTRODUTÓRIA – Neptunistas, Vulcanistas e Plutonistas

1. **Lê atentamente o texto seguinte e responde às questões que vais encontrando.** (Adaptado de Galopim de Carvalho, in <http://www.triplov.com/galopim/magma.html>)

O primeiro contacto do Homem com o magmatismo e com as rochas magmáticas fez-se através do vulcanismo activo que as populações da margem norte do Mediterrâneo puderam presenciar desde sempre. Santorini, ilha grega das Cíclades, no mar Egeu, Vulcano e Estromboli, nas ilhas Lipari, Etna, na Sicília, Vesúvio e outros vulcões foram, além de uma curiosidade, uma enorme preocupação para todos os que viveram a seu lado.

As primeiras preocupações científicas em torno das rochas a que hoje chamamos magmáticas ou ígneas surgem na Alemanha no século XVIII. Werner publicou, em 1787, uma pequena brochura onde procurou extrapolar à escala do planeta, uma concepção teórica, global, conhecida por teoria neptunista ou neptunismo. Nesta concepção, aceitava-se que a Terra estivesse completamente coberta por um oceano primordial e que, nas águas deste oceano global, teriam estado em suspensão e/ou em solução todos os componentes que integram as rochas da crosta terrestre. Apenas as lavas e os tufos eram interpretadas como produtos vomitados pelos vulcões, um conhecimento, na altura, pouco acessível aos habitantes do centro e norte da Europa (incluindo os cientistas), mas, pelo contrário, bem vivido pelas populações mediterrâneas, de há muito familiarizadas com este fenómeno geológico. Todavia, para os neptunistas, este vulcanismo, *resultava da fusão de outras rochas em regiões onde tivesse lugar a combustão de camadas subjacentes de carvão ou de betume*, uma concepção errónea vinda da Antiguidade. Um dos críticos mais intransigentes das ideias de Werner foi o italiano e contemporâneo Scipio Breislak, que perguntava, com alguma ironia, *onde se havia escondido toda a água desse imenso oceano e afirmava ainda que, por muito grande que fosse, este oceano não poderia ter contido em suspensão todos os constituintes das rochas da crosta.*

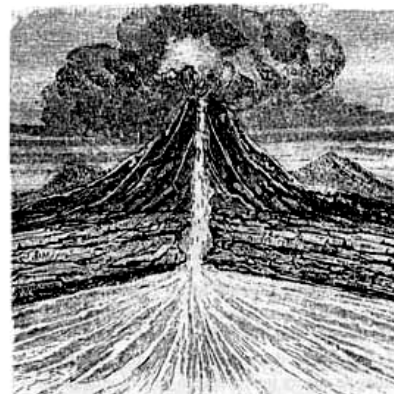


FIG. 1 — Gravura do século XIX, mostrando um corte esquemático de um vulcão em actividade, numa concepção antiga que defendia a existência de uma esfera ígnea, em fusão, sob a crosta sólida

Refere o nome dado à primeira teoria sobre as rochas magmáticas.

Com base nesta teoria, como se teriam formado a maior parte das rochas da Terra?

As únicas rochas interpretadas como produtos provenientes dos vulcões eram as lavas e os tufos. Indica qual se pensava ser a origem dessas rochas fundidas.

Surgiu então uma das mais notáveis polémicas no domínio das geociências. Aos neptunistas, opunham-se os vulcanistas contemporâneos. Um pioneiro da escola vulcanista foi o francês Nicholas Desmarest (1725-1815) que conseguiu negar a combustão de carvões e betumes no interior da crosta, como fonte de calor necessária às erupções vulcânicas, defendida pelos neptunistas, preferindo admitir que o basalto poderia resultar da fusão do granito, sem, contudo, explicar qual a fonte de calor para tal. Ao reconhecer no basalto uma lava antiga e ao afirmar que a erosão era sobretudo um trabalho dos rios ao nível das terras emersas e não uma acção do mar, Desmarest dava um outro duro golpe na teoria neptunista.

Quais os argumentos a favor do vulcanismo apresentados por Desmarest?

Contudo, vulcanistas e neptunistas convergiam num ponto: o granito era uma *rocha primordial*, isto é, nenhuma outra existira antes dele, concepção errónea, rapidamente denunciada por Guy de Dolomieu (1750-1802) ao demonstrar que, subjacente ao granito, havia rochas de natureza basáltica, que o haviam intruído (penetrado) e atravessado para dar saída às respectivas lavas. O que ele via nesta ocorrência era a existência de algo (basalto) situado inferiormente ao granito, rocha que, na concepção neptunista, deveria ser considerada mais antiga. Dolomieu, admitia ainda que as fontes de calor geradoras desses fundidos se encontravam em profundidade, abaixo da crosta consolidada. Esta concepção relaciona-se com o antigo conceito de pirofera (do grego, *pyrós*, fogo), concebida como uma esfera contínua de material ígneo subjacente à litosfera. Deve acentuar-se que na interpretação de Dolomieu estava implícita a intuição de plutonismo. O geólogo inglês Hutton, considerado por muitos o «pai da geologia», pôs ponto final no

neptunismo ao demonstrar a origem magmática profunda não apenas do basalto mas também do granito. O conde de Buffon, defendia igualmente o calor interno do globo que, segundo ele, teria passado por um estado de fusão seguido de lento arrefecimento, tendo daí resultado enrugamentos testemunhados pelas montanhas. Buffon admitia igualmente a origem ígnea do granito. Para este, a Terra, bem como os restantes planetas do Sistema Solar, nascera de uma porção arrancada ao Sol, porção essa que teria arrefecido apenas à superfície, restando-lhe calor interno suficiente para justificar a origem ígnea do granito. Mais tarde, Laplace torna pública a sua hipótese nebular para a origem da Terra (1796).

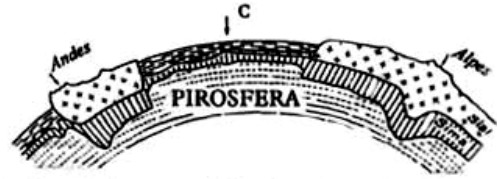


FIG. 2 — Figura circulante nos manuais de ensino da 1.ª metade do século passado, onde ainda prevalece o antigo conceito de pirofera, ígnea, situada sob a litosfera, na qual se distinguem sial e sima. Notar que ainda não havia sido formulado o conceito de rifte nas dorsais oceânicas, entendidas apenas como alinhamentos de relevos, ou seja, como cristas (C) salientes da planura dos fundos. A subdução da litosfera oceânica não era ainda sequer imaginada, embora as fossas abissais já fossem conhecidas e associadas, no espaço, às cinturas vulcânicas e sísmicas, como a já então conhecida por *anel de fogo do Pacífico*. A hipótese da deriva dos continentes, se bem que contestada na época, prevalece na figura. Com efeito, o espessamento da crosta nos Andes, a oeste do continente, e a deformação da litosfera oceânica na sua margem expressam graficamente a deriva desta massa continental, tal como a definiu Wegener em 1924

Vulcanistas e Neptunistas tinham uma ideia comum. Qual? Qual o primeiro argumento utilizado para denunciar a sua natureza errada?

Hutton e Buffon apresentaram algumas ideias que tentaram por de lado o neptunismo. Indica-as.

O fogo central e o plutonismo contrariavam o saber escolástico, em declínio, pelo que os seus seguidores não eram bem vistos pelas autoridades religiosas. Alguns pensadores de vulto, como o epicurista P. Gassend (1592-1655), puseram em dúvida não só a existência de combustível nessas profundidades, como a possibilidade de o ar atmosférico descer até aí. A verdade é que se acreditava que no centro da Terra ou em cavernas subterrâneas próximas da superfície, o fogo era mantido por substâncias combustíveis como betumes, carvões, enxofre ou matérias gordas. Assim, os vulcões eram vistos também como os respiradouros por onde entrava o ar necessário a esses fogos em profundidade. Só mais tarde, com o dominicano Patruzzi, em 1796, se consolidou a ideia de um fogo interior não produzindo chamas, como acontece na combustão, mas sim concebido como um fundido incandescente, à semelhança do ferro derretido. Hutton, realçou o facto, de alguns granitos intruírem outras rochas, ditas encaixantes, pelo que eram mais jovens do que elas; reconheceu, pela primeira vez, que as rochas a que chamamos plutónicas, vulcânicas e sedimentares tinham géneses distintas.



FIG. 3 — Esquema elaborado por Descartes em 1647, representando a atmosfera (B), a crosta (M) e o fogo central (I)

Porque é que alguns seguidores do plutonismo não eram bem vistos pelas autoridades religiosas?

Como é que se acreditava que era mantido o fogo no interior da Terra?

Patruzzi e Hutton apresentaram algumas ideias contrárias às que referiste anteriormente. Indica-as.

A teoria plutonista assenta num modelo cíclico, resultante de um equilíbrio dinâmico entre levantamentos de terrenos por acção do calor interno da Terra e a erosão que os ia nivelando. Os materiais resultantes da erosão eram de seguida acumulados e consolidados sob a forma de sucessões de camadas de sedimentos. Novamente o calor interno voltava a provocar o levantamento dos fundos marinhos, trazendo à superfície as rochas entretanto sedimentadas e consolidadas pelo mesmo calor interno, repetindo-se o ciclo. Esta concepção, pressupõe uma dimensão temporal imensa, tendo recebido oposição muito mais violenta por parte dos seguidores da cronologia bíblica, reduzida a escassos milhares de anos. As ideias de Hutton só começaram a ser entendidas e aceites quando um seu discípulo, Playfair (1748-1819), reuniu as observações e conclusões do mestre numa obra mais bem organizada. Outro discípulo de Hutton, James Hall (1761-1832), procedeu a experiências centradas em fusão de basaltos, obtendo resultados que apoiavam as ideias plutonistas. Em meados do século XIX, Bunsen (1851) e Durocher (1857) defendiam a existência de dois magmas primordiais sob a forma de grandes toalhas líquidas. Uma, de natureza ácida, conducente às rochas graníticas, constituída por material viscoso e pouco denso, localizada na zona mais externa da crosta terrestre, e uma outra, de composição básica, a partir da qual se originavam as rochas basálticas, formada por um magma mais fluido e mais denso.

Explica por palavras tuas a teoria plutonista.

ACTIVIDADE PRÁTICA – À Descoberta das Rochas Magmáticas

As rochas magmáticas são agregados naturais, coerentes, constituídos por vários minerais, os quais conservam individualmente as suas propriedades. Estas rochas podem apresentar grande diversidade de aspectos em consequência das diferenças de condições da sua génese e também da diversidade de magmas que as originaram.

A classificação das rochas magmáticas em amostra de mão tem como base alguns critérios, nomeadamente: a cor, existência ou não de minerais visíveis macroscopicamente, existência de quartzo, entre outros.

Nesta actividade vais tentar identificar vários tipos de rochas magmáticas, com base nestes critérios e com a ajuda da chave dicotómica fornecida.

Material- Lupa, Placa de vidro,

Amostras de: Granito; Basalto; Diorito; Gabro; Riólito; Andesito

Rocha	COR			Cristais visíveis a olho nu		Quartzo		Outros minerais	Rocha identif.
	Clara	Intermédia	Escura	Sim	Não	Presente	Ausente		
A									
B									
C									
D									
E									
F									

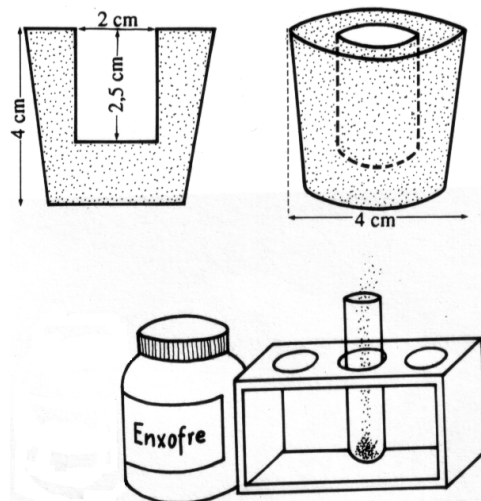
Chave Dicotómica Simplificada de Identificação de Algumas Rochas Magmáticas

ROCHAS MAGMÁTICAS		
1	Rocha com textura fanerítica (minerais visíveis a olho nu)	2
	Rocha com textura afanítica (minerais não visíveis a olho nu)	4
2	Rocha geralmente de cor clara, com quartzo e feldspato	Granito
	Rocha geralmente de cor escura, sem quartzo	3
3	Rocha onde se observam minerais de olivina e piroxena	Gabro
	Rocha constituída por biotite e anfíbola	Diorito
4	Rocha geralmente de cor clara, onde predomina o feldspato potássico	Riólito
	Rocha geralmente escura	5
5	Rocha na qual se observam pequenos cristais de olivina numa matriz escura	Basalto
	Rocha rica em plagioclase, biotite e anfíbola	Andesito

ACTIVIDADE PRÁTICA – Condições de formação dos minerais

A formação de cristais está intimamente relacionada com a velocidade de arrefecimento do material em fusão. A experiência seguinte permite comprovar, de um modo muito simples, este facto.

- Material:**
- Enxofre em pó
 - Colher ou espátula
 - Lamparina de álcool
 - Caixa de fósforos
 - Pinça ou mola de madeira
 - Rolha de cortiça
 - Tubo de ensaio
 - Suporte para tubos de ensaio
 - Gobelé com água fria (do frigorífico)
 - Placa de vidro
 - Agulha
 - Bisturi ou faca afiada



Procedimento:

- 1 – Abre uma cavidade na rolha de cortiça.
- 2 – Com a colher ou com a espátula, coloca o enxofre dentro do tubo de ensaio até metade da sua altura.
- 3 – Segura no tubo de ensaio com uma pinça e aquece-o com muito cuidado na lamparina, até o enxofre fundir completamente.
- 4 – Deita na rolha metade do enxofre contido no tubo e deixa-o arrefecer sem lhe mexer.
- 5 – Coloca o resto do enxofre sobre a placa de vidro, de modo a que fique bem espalhado (inclina-a um pouco).
- 6 – Quando o enxofre que está na rolha já estiver sólido à superfície, perfura-o com uma agulha e escorre o líquido que restar para dentro do gobelé com água fria.

Observação:

Verifica a presença ou ausência de cristais e quais as dimensões destes:

- No enxofre que solidificou no interior da rolha de cortiça.
- No enxofre solidificado sobre a placa de vidro.
- No enxofre que solidificou na água fria.

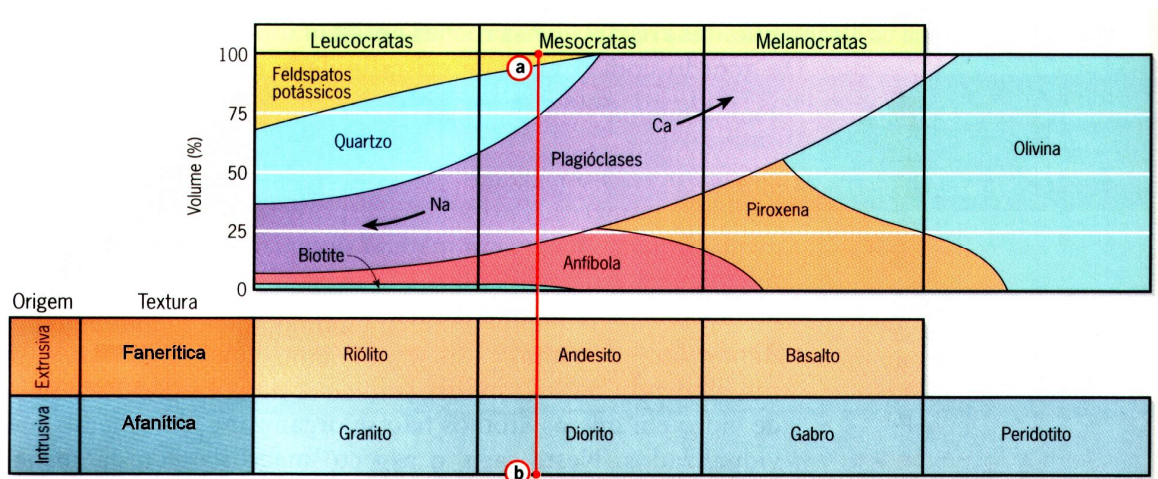
Interpretação dos resultados:

Formula as hipóteses que consideras viáveis, para explicar as diferenças observadas durante a solidificação do enxofre na rolha de cortiça, na placa de vidro e na água fria.

Conclusões:

FICHA DE TRABALHO¹ – Composição Mineralógica

1. Observa atentamente a figura e responde às questões seguintes.



Refere quais as rochas mais ricas em quartzo.

Entre que limites pode variar a percentagem de quartzo nessas rochas?

Quais as características que permitem distinguir a família do gabro das restantes famílias?

Indica o nome de uma rocha cuja composição é idêntica à dos granitos, mas com textura diferente.

Como explicas que os basaltos tenham uma cor mais escura que a dos granitos?

Refere a composição mineralógica qualitativa e quantitativa da rocha indicada pelo segmento AB.

¹ Ficha de Trabalho adaptada de: SILVA, A. *et al* (2004).

ACTIVIDADE PRÁTICA – Leitura de Cartas Topográficas e Geológicas

(A utilizar para a preparação da saída de campo à zona de Mangualde)

CARTAS TOPOGRÁFICAS - contêm dois tipos de informações:

- o traçado dos cursos de água e das estradas e caminhos, a localização dos bosques, edifícios, etc. Estes elementos também se encontram com maior ou menor evidência nos mapas de estrada;
- a representação do relevo. É este registo que as distingue dos mapas de estradas e lhes dá a designação de topográficas.

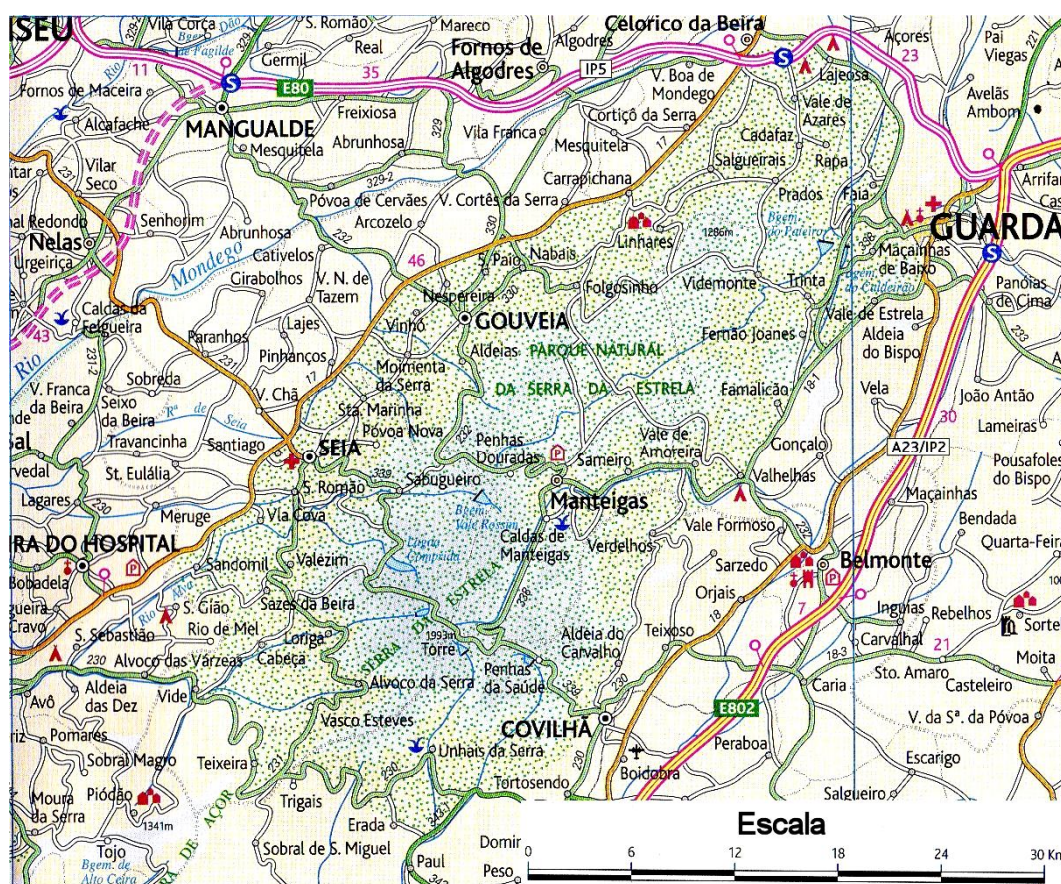


Fig. 1 - Mapa de Estradas. (Adaptado do mapa de Portugal Madeira e Açores 1:600000 da Cliparte Design & Mapas).

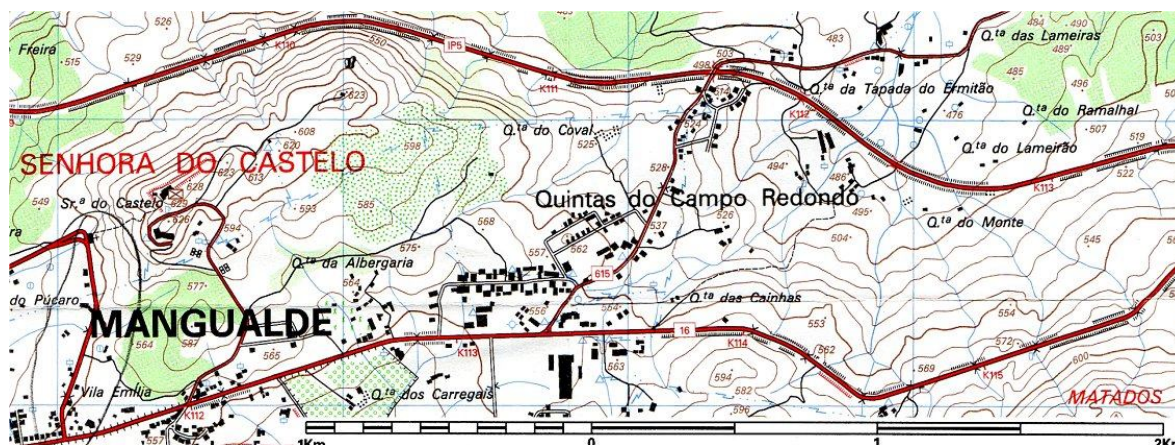
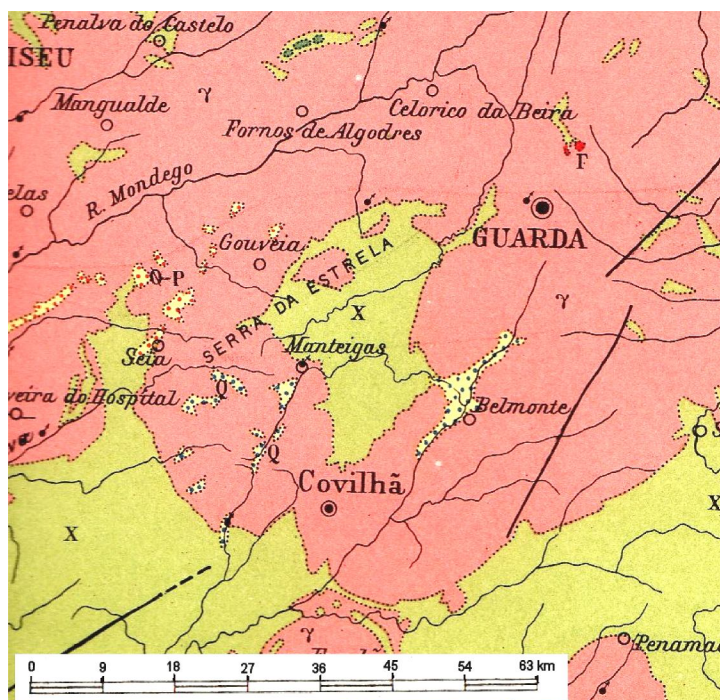


Fig. 2 - Carta Topográfica. (Extracto da Carta Militar de Portugal – Folha 190 Mesquitela (Mangualde) – Instituto Geográfico do Exército).

CARTAS GEOLÓGICAS – utilizam uma base topográfica e destinam-se a representar a distribuição das diferentes formações geológicas de uma determinada região e de todos os elementos de interesse geológico que sejam susceptíveis de representação.

Fig. 3 - Carta Geológica. (Extrato da Carta Geológica de Portugal 1:1000000 de 1968, Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal). Legenda: *a rosa* – Granitos; *a verde* – complexo xisto-grauváquico; *beje com pintas* – depósitos de cobertura; *vermelho* – gabbro.



LEITURA DE UMA CARTA

A leitura de qualquer carta pressupõe a existência de algumas indicações, entre as quais de destacam:

- **ORIENTAÇÃO** – qualquer carta deve ter representada a rosa-dos-ventos ou, pelo menos, a direcção do norte geográfico. Só assim é possível orientá-la no terreno;
- **ESCALA** – permite efectuar leituras em condições correctas. Um mesmo fenómeno registado a diferentes escalas sofre alteração, fundamentalmente, nas suas proporções;
- **TÍTULO** – corresponde à identificação da carta. Deve ser curto e completo, expressando o conceito de maneira compreensível e dando indicações úteis para a identificação da carta;
- **LEGENDA E SIMBOLOGIA** – a expressão gráfica de uma carta tem por base os símbolos e a respectiva legenda. Os símbolos são sinais convencionais que traduzem uma informação ou um acidente de uma forma simples e clara, de modo a proporcionar ao seu utilizador uma leitura rápida e sem ambiguidades.

Para determinarmos as **distâncias** ou as superfícies representadas nas cartas topográficas, temos de recorrer à **escala** utilizada, isto é, a **relação entre** a distância medida na carta e a distância real medida no terreno.

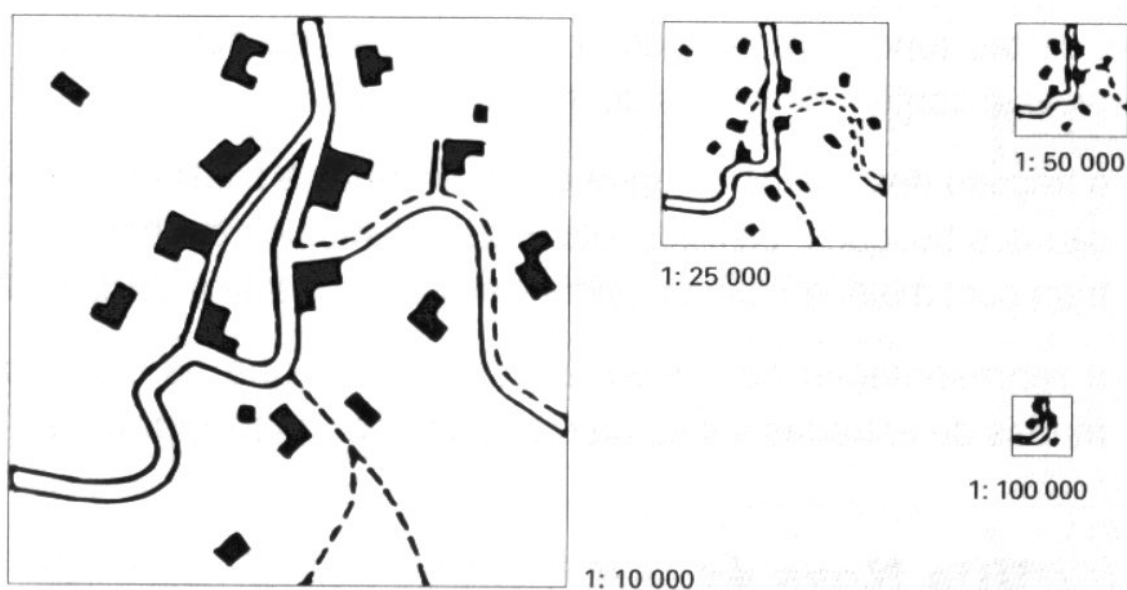


Fig. 4 – A mesma região representada a várias escalas

Por exemplo: Se **1mm** sobre a carta representa **x mm** sobre o terreno, a escala é de **1:x**.

Assim, uma escala de **1: 25000** quer dizer que **1 mm** na carta corresponde a **25000 mm** no terreno, ou seja, corresponde a **25 metros** no terreno.

Para além das escalas numéricas, existem também escalas gráficas, que se representam por um segmento de recta ou barra e permite a leitura directa no mapa e, por conseguinte, a conversão directa nas respectivas distâncias reais.

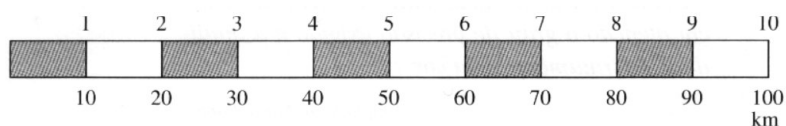


Fig. 5 – Escala gráfica.

1. Observa a Carta Geológica fornecida pelo teu professor e resolve os seguintes exercícios:
 - 1.1. Menciona a que zona do país corresponde a carta.
 - 1.2. Indica a escala em que está representada a carta.
 - 1.3. Tendo em atenção a escala da carta, calcula a distância real entre a localidade A e B.
 - 1.4. Imagina que tens duas cartas da mesma região a diferentes escalas. A carta C é de 1:10000 e a carta D é de 1:50000. Em qual destas cartas (C ou D) observas a localidade com maior pormenor?
 - 1.5. Identifica os tipos de rochas que se encontram nas localidades X, Y e Z.

ACTIVIDADE PRÁTICA – Leitura de Cartas Topográficas e Geológicas

(A utilizar para a preparação da saída de campo à zona da Lagoa Comprida)

CARTAS TOPOGRÁFICAS - contêm dois tipos de informações:

- o traçado dos cursos de água e das estradas e caminhos, a localização dos bosques, edifícios, etc. Estes elementos também se encontram com maior ou menor evidência nos mapas de estrada;
- a representação do relevo. É este registo que as distingue dos mapas de estradas e lhes dá a designação de topográficas.

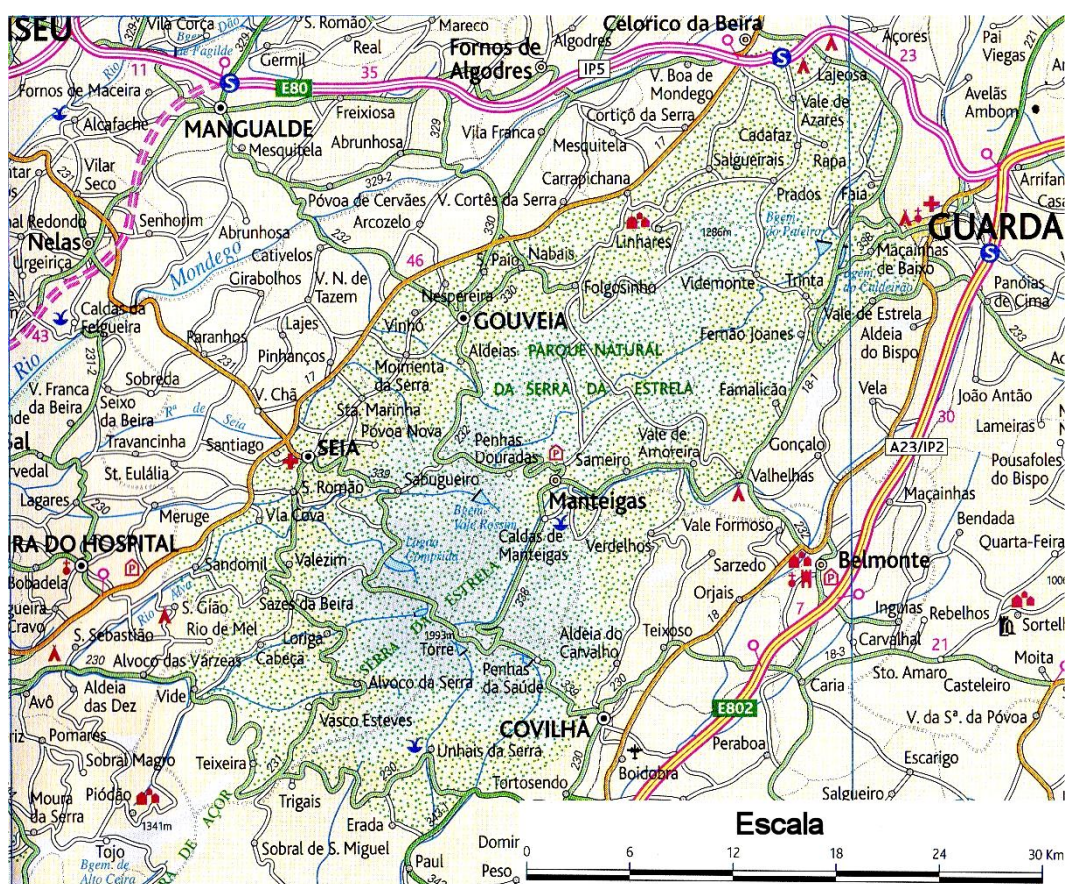


Fig. 1 - Mapa de Estradas. (Adaptado do mapa de Portugal Madeira e Açores 1:600000 da Cliparte Design & Mapas).

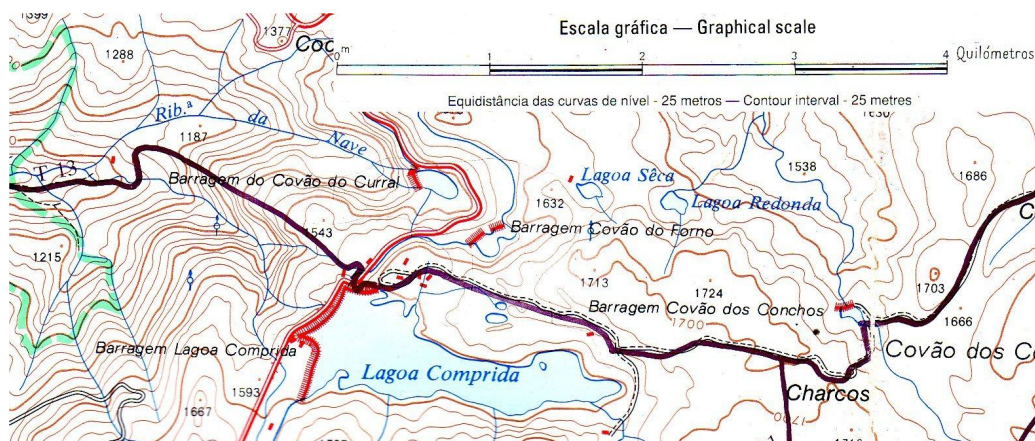


Fig. 2 - Carta Topográfica. (Extracto da Carta Turística 1:50000 do parque natural da Serra da Estrela, Instituto Português de Cartografia e Cadastro; Instituto da Conservação da Natureza).

CARTAS GEOLÓGICAS – utilizam uma base topográfica e destinam-se a representar a distribuição das diferentes formações geológicas de uma determinada região e de todos os elementos de interesse geológico que sejam susceptíveis de representação.

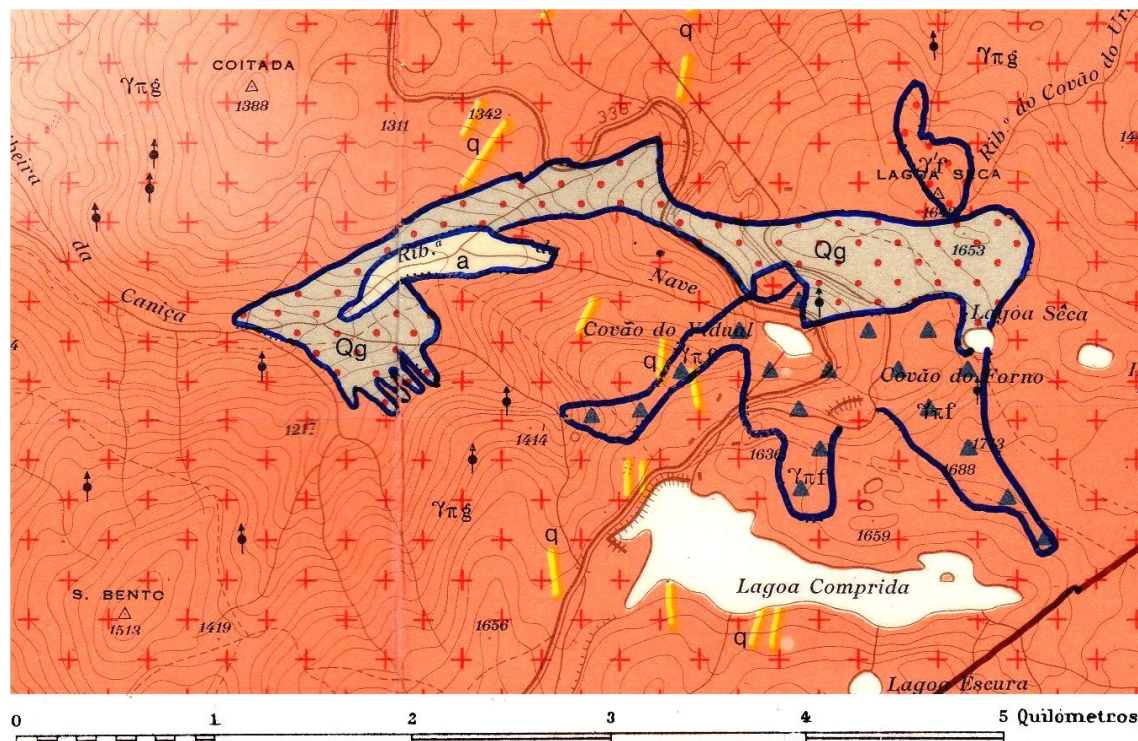


Fig. 3 - Carta Geológica. Legenda: $\gamma\pi g$ – Granito porfiróide de grão grosseiro ; $\gamma\pi f$ – Granito porfiróide de grão fino, brechóide ; $\gamma'f$ - Granito não porfiróide de grão fino; Qg – Depósitos glaciários; a - Aluviões actuais; q – Filões de quartzo. (Extrato da Carta Geológica de Portugal 1/50 000 - Notícia Explicativa da Folha 20-B (Covilhã). Serviços Geológicos de

LEITURA DE UMA CARTA

A leitura de qualquer carta pressupõe a existência de algumas indicações, entre as quais de destacam:

- ORIENTAÇÃO – qualquer carta deve ter representada a rosa-dos-ventos ou, pelo menos, a direcção do norte geográfico. Só assim é possível orientá-la no terreno;
- ESCALA – permite efectuar leituras em condições correctas. Um mesmo fenómeno registado a diferentes escalas sofre alteração, fundamentalmente, nas suas proporções;
- TÍTULO – corresponde à identificação da carta. Deve ser curto e completo, expressando o conceito de maneira compreensível e dando indicações úteis para a identificação da carta;
- LEGENDA E SIMBOLOGIA – a expressão gráfica de uma carta tem por base os símbolos e a respectiva legenda. Os símbolos são sinais convencionais que traduzem uma informação ou um acidente de uma forma simples e clara, de modo a proporcionar ao seu utilizador uma leitura rápida e sem ambiguidades.

Para determinarmos as **distâncias** ou as superfícies representadas nas cartas topográficas, temos de recorrer à **escala** utilizada, isto é, a **relação entre** a distância medida na carta e a distância real medida no terreno.

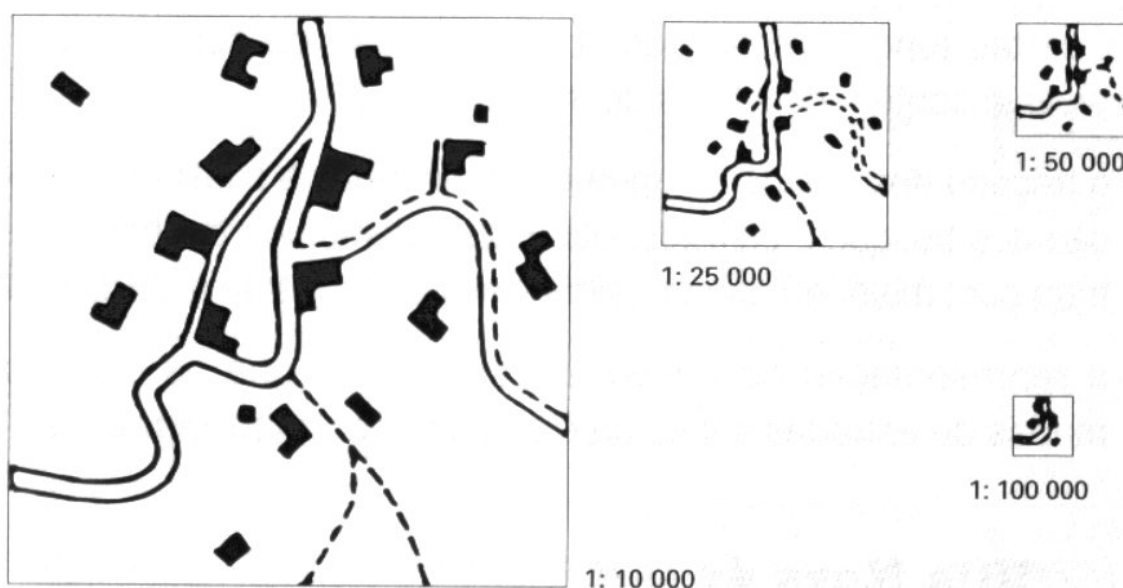


Fig. 4 – A mesma região representada a várias escalas

Por exemplo: Se **1mm** sobre a carta representa **x mm** sobre o terreno, a escala é de **1:x**.

Assim, uma escala de **1: 25000** quer dizer que **1 mm** na carta corresponde a **25000 mm** no terreno, ou seja, corresponde a **25 metros** no terreno.

Para além das escalas numéricas, existem também escalas gráficas, que se representam por um segmento de recta ou barra e permite a leitura directa no mapa e, por conseguinte, a conversão directa nas respectivas distâncias reais.

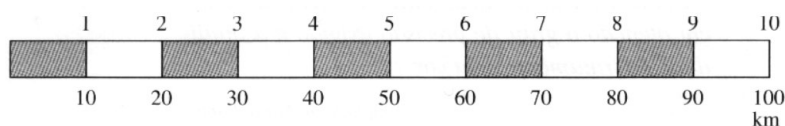
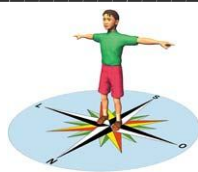


Fig. 5 – Escala gráfica.

1. Observa a Carta Geológica fornecida pelo teu professor e resolve os seguintes exercícios:
 - 1.1. Menciona a que zona do país corresponde a carta.
 - 1.2. Indica a escala em que está representada a carta.
 - 1.3. Tendo em atenção a escala da carta, calcula a distância real entre a localidade A e B.
 - 1.4. Imagina que tens duas cartas da mesma região a diferentes escalas. A carta C é de 1:10000 e a carta D é de 1:50000. Em qual destas cartas (C ou D) observas a localidade com maior pormenor?
 - 1.5. Identifica os tipos de rochas que se encontram nas localidades X, Y e Z.



ACTIVIDADE PRÁTICA – Utilização da Bússola

No campo a utilização da bússola é importante, pois ajuda a orientar-te. A agulha magnética da bússola aponta sempre o Norte, permitindo assim, orientares tudo o que se encontra à tua volta tendo como referência os pontos cardeais.

Pontos Cardeais:

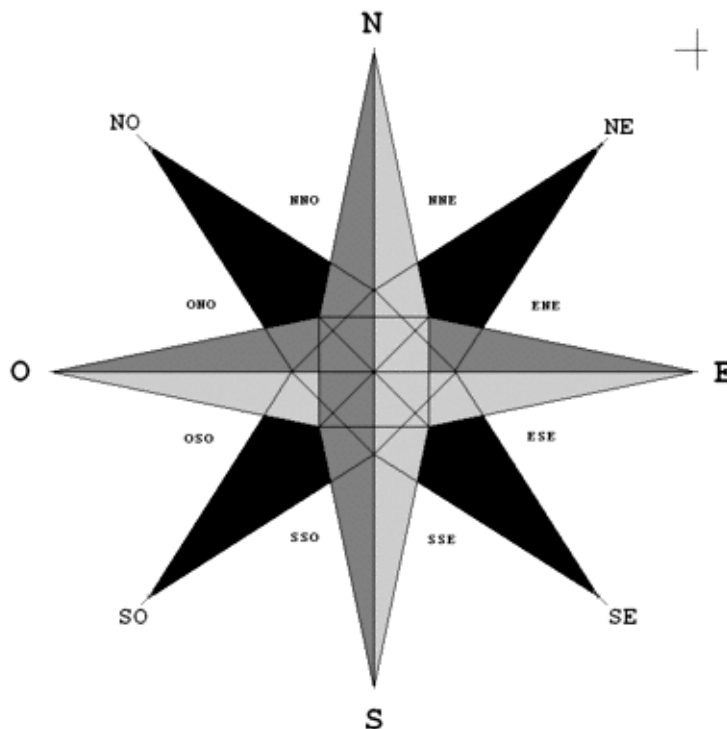
- E: Este ou Leste;
- N: Norte;
- O: Oeste;
- S: Sul;

Pontos colaterais:

- NE: Nordeste;
- NO: Noroeste;
- SE: Sudeste;
- SO: Sudoeste;

Pontos sub-colaterais:

- NNE: Nor-nordeste;
- ENE: Lés-nordeste;
- ESE: Lés-sudeste;
- SSE: Sul-sudeste;
- SSO: Sul-sudoeste;
- OSO: Oés-sudoeste;
- ONO: Oés-noroeste e
- NNO: Nor-noroeste



1. Utilizando a bússola fornecida, faz um esquema da disposição dos alunos na sala de aula e indica a sua posição relativamente a ti.

ACTIVIDADE PRÁTICA – Traçado de um perfil topográfico

A realização de um perfil topográfico permite evidenciar o relevo segundo uma determinada direcção definida numa carta topográfica e geológica.

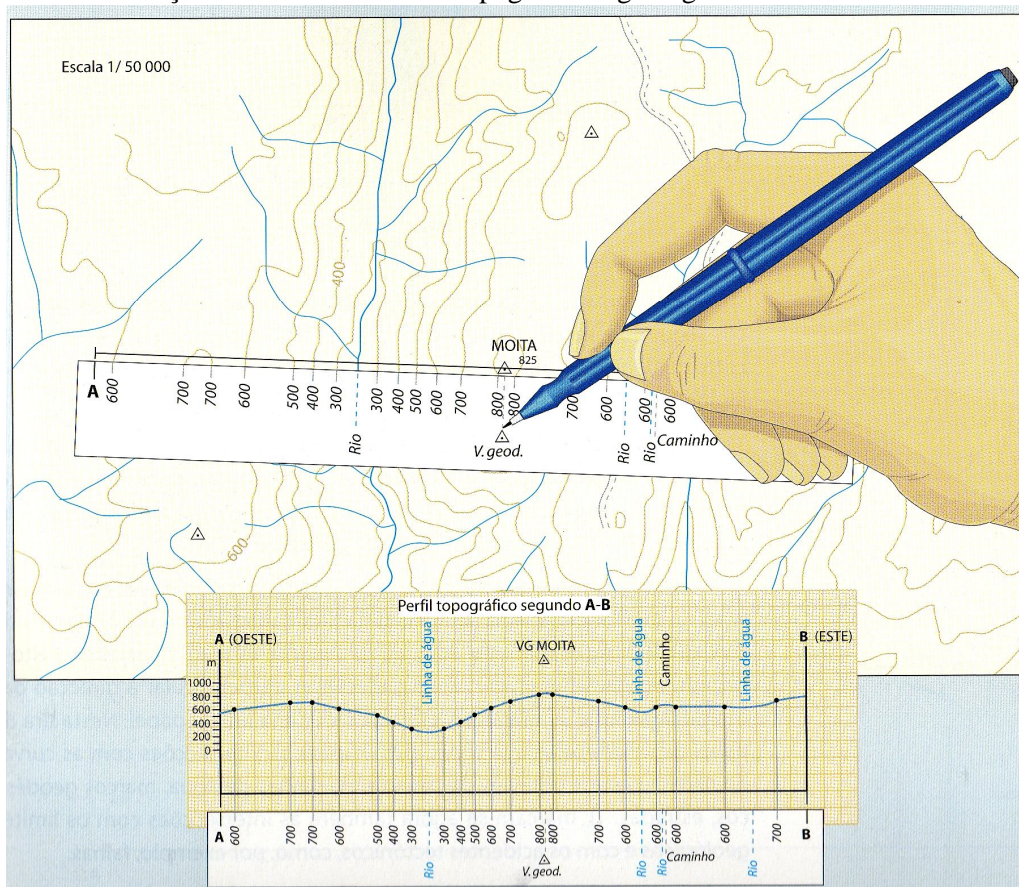


Fig. 1 – Realização de um perfil topográfico. (extraído de Félix *et al*, 2005)

Material:

- Carta Topográfica 1/25000
- Lápis
- Borracha
- Folha de papel milimétrico
- Tira de papel

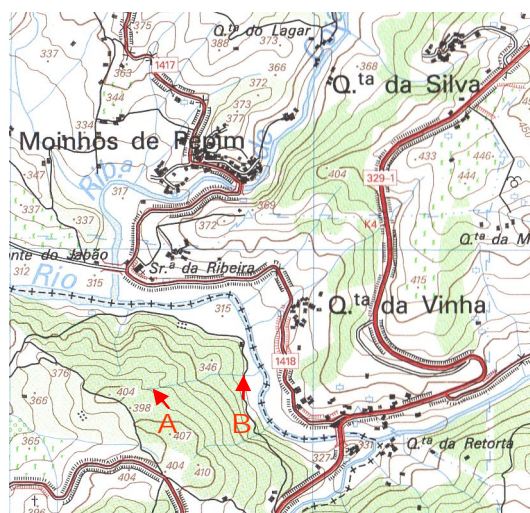
Procedimento:

- 1- Traça na carta a linha segundo a qual há interesse em conhecer o perfil;
- 2- Assenta sobre esse segmento um dos lados da tira de papel;
- 3- Sobre a tira de papel, marca com lápis os pontos de intersecção da linha do perfil com as curvas de nível;
- 4- Assinala os valores das cotas intersectadas, bem como outros elementos importantes (linhas de água, estradas, rios...);
- 5- Na folha de papel milimétrico, traça um gráfico, em que no eixo das abcissas (xx) figure a distância correspondente à planimetria e no eixo das ordenadas (yy) as cotas das curvas de nível representadas na escala da carta;
- 6- Une os vários pontos assinalados através de uma linha contínua, para obter o perfil topográfico correspondente;
- 7- Coloca um título e indica a orientação a que corresponde o perfil topográfico elaborado (por exemplo: O-E).

ACTIVIDADE PRÁTICA – Determinação do declive de uma linha de água a partir da interpretação de uma Carta Topográfica

(A utilizar para a preparação da saída de campo à zona de Mangualde)

Na zona abaixo representada observam-se diversas linhas de água que alimentam o rio Dão. A partir das informações de uma carta topográfica podemos determinar o declive de uma dada linha de água.



1. Como calcular o declive entre os locais A e B assinalados na seguinte secção da Carta Topográfica, 1/25000, da região de Mangualde?

Ponto A – cota: 390 m

Ponto B – cota: 320 m

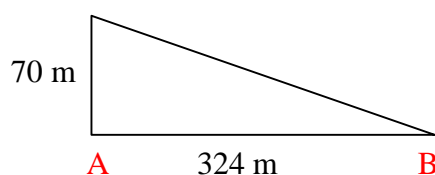
- Distância horizontal entre os pontos A e B medida na carta: 13 mm

1 mm (na carta) – 25000 mm (no terreno)

13 mm (na carta) – X

$X = 13 * 25000 / 1 = 325000$ mm no terreno, ou seja, 325 m.

- Diferença entre as cotas dos pontos A e B: $390 - 320 = 70$ m



- Cálculo do declive

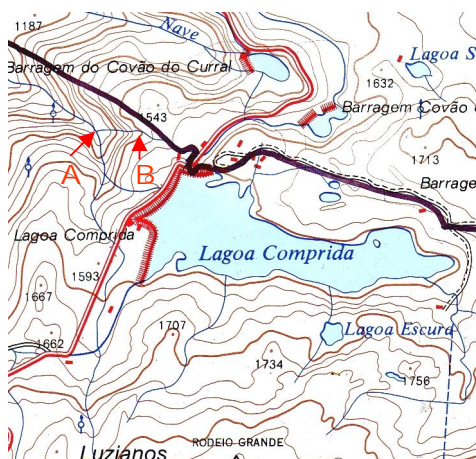
Declive = $(70 / 324) \times 100 \% = 21,6 \%$

2. Com base no exemplo, determina o declive de uma outra linha de água à tua escolha na secção da Carta Topográfica fornecida, à escala de 1/25000.

ACTIVIDADE PRÁTICA – Determinação do declive de uma linha de água a partir da interpretação de uma Carta Topográfica

(A utilizar para a preparação da saída de campo à zona da Lagoa Comprida)

Na zona abaixo representada observam-se diversas linhas de água que alimentam o rio Dão. A partir das informações de uma carta topográfica podemos determinar o declive de uma dada linha de água.



1. Como calcular o declive entre os locais A e B assinalados na seguinte secção da Carta Topográfica, 1/50000, da zona da Lagoa Comprida?

Ponto A – cota: 350 m

Ponto B – cota: 500 m

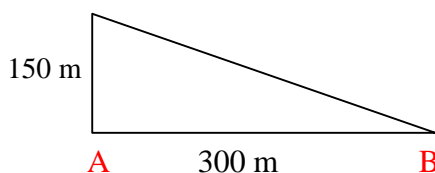
- Distância horizontal entre os pontos A e B medida na carta: 6 mm

1 mm (na carta) – 50000 mm (no terreno)

6 mm (na carta) – X

$X = 6 * 50000 / 1 = 300000$ mm no terreno, ou seja, 300 m.

- Diferença entre as cotas dos pontos B e A: $500 - 350 = 150$ m



- Cálculo do declive

Declive = $(150 / 300) \times 100 \% = 50 \%$

2. Com base no exemplo, determina o declive de uma outra linha de água à tua escolha na secção da Carta Topográfica fornecida, tendo em atenção a escala a que a carta está.

ACTIVIDADE DE PREPARAÇÃO PARA A SAÍDA DE CAMPO

Material a utilizar na saída de campo:

- Carta topográfica da região;
- Carta geológica da região;
- Martelo de geólogo;
- Bússola;
- Lupa;
- Sacos de plástico;
- Etiquetas;
- Lápis / caneta;
- Caderno de campo;
- Máquina fotográfica.

O que deves fazer na saída de campo:

1. Deves levar vestuário e calçado adequados, em função da época do ano em que se realiza a visita.
2. Deves levar alimentos e bebidas para te alimentares durante a visita de estudo.
3. Durante o percurso, vai registando e desenhando aspectos relativos à morfologia do terreno, diferentes tipos de rochas, etc.
4. Chegando à região a visitar, observa os aspectos paisagísticos mais típicos e compara a paisagem observada com o estudo que realizaste das cartas topográficas e geológicas.
5. Complementa as observações com a realização de fotografias e de esquemas dos aspectos que consideras mais importantes.
6. Recolhe pequenas amostras de rochas (de modo a não destruíres o afloramento). Coloca-as em sacos de plástico devidamente etiquetados (local, dia). Assinala na carta e/ou caderno de campo a data e o local onde foram realizadas as diferentes recolhas de materiais.

Com o objectivo de te familiarizares com a área de estudo, observa as fotografias que o teu professor te vai fornecer.

**Exemplos de fotografias que podem ser utilizadas
para a preparação da saída de campo à zona de Mangualde**



LEGENDA – A, B, C são imagens relativas à primeira paragem.
– D, E, F são imagens relativas à segunda paragem.

**Exemplos de fotografias que podem ser utilizadas
para a preparação da saída de campo à zona da Lagoa Comprida**



LEGENDA – A, B são imagens relativas à primeira paragem.
– C é relativa à segunda paragem.
– D, E são imagens relativas à quarta paragem.
– F é relativa à quinta paragem.

ANEXO C

Transparências a Utilizar nas
Aulas de Preparação

ROCHAS MAGMÁTICAS:

- Rochas que têm origem na solidificação do magma;
- Existe uma grande variedade;
- Caracterizadas com base na:
 - Cor
 - Textura
 - Composição Mineralógica
 - Composição Química



Todas as imagens foram adaptadas de Moreira, 1999

* **COR**

Está relacionada com os minerais que predominam na rocha:

Pode ser:

- Clara
- Intermédia
- Escura

-- Minerais Félsicos

- Ricos em sílica
- Apresentam cor clara
- Quartzo, feldspato, moscovite

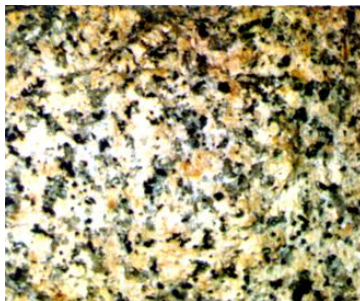
-- Minerais Máficos

- Ricos Fe e Mg
- Apresentam cor escura
- Biotite, piroxena, anfíbola, olivina

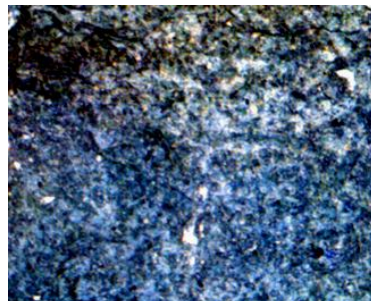
-- Índice de cor

- Leucocratas – predominam os minerais félsicos
- Mesocratas – intermédias
- Melanocratas – predominam os minerais máficos
- Holomelanocratas – só ocorrem minerais máficos

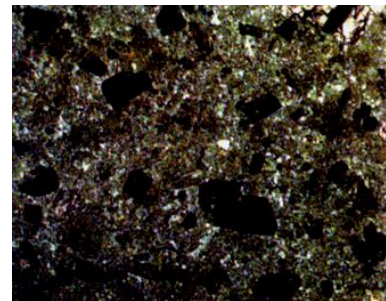
Rochas de diferentes tonalidades



Leucocrata



Mesocrata



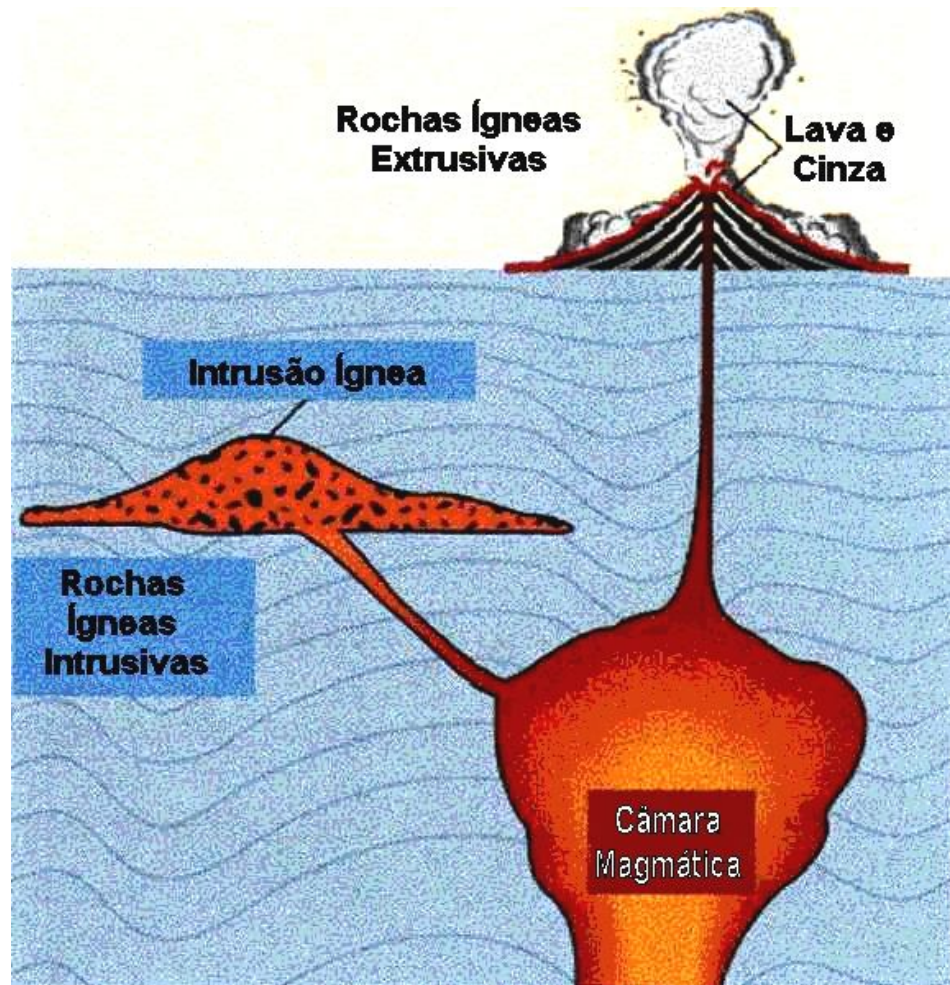
Melanocrata

Imagens adaptadas de Silva *et al*, 2000

* **TEXTURA** – Aspecto geral da rocha resultante das dimensões, forma e arranjo dos minerais constituintes.



Depende das condições de solidificação do magma.



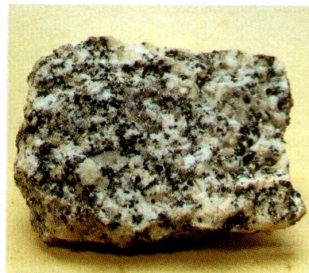
- Rochas Plutônicas ou Intrusivas {
 - o magma solidifica em profundidade
 - o arrefecimento é lento
 - formam-se minerais grandes
- Rochas Vulcânicas ou Extrusivas {
 - o magma solidifica à superfície
 - o arrefecimento é rápido
 - formam-se minerais de pequenas dimensões e por vezes não chegam a formar-se minerais

* **TEXTURA (cont.)** – O tamanho dos grãos minerais que constituem as rochas magmáticas permitem classificá-las em duas grandes categorias.

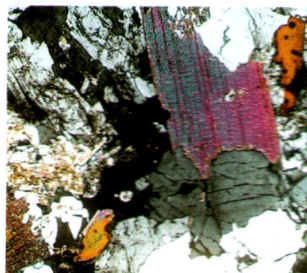
☛ **Faneríticas** – rochas constituídas por grãos cristalinos reconhecíveis à vista desarmada.

Equigranular

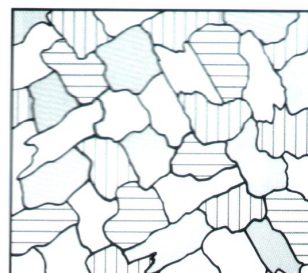
Os grãos possuem aproximadamente o mesmo tamanho



a) Amostra de mão;



b) Lâmina vista ao microscópio;



c) Esquema da lâmina vista ao microscópio.

Porfiróide

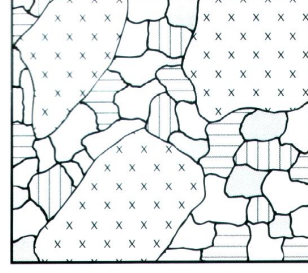
Apresenta cristais grandes (fenocristais) e outros de dimensões menores.



a) Amostra de mão;



b) Lâmina vista ao microscópio;



c) Esquema da lâmina vista ao microscópio.

Pegmatítica

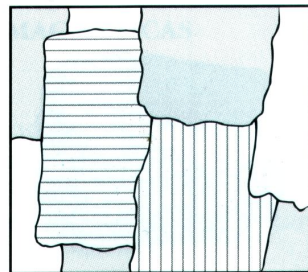
Apresenta todos os cristais bem desenvolvidos e de grande perfeição morfológica.



a) Amostra de mão;



b) Lâmina vista ao microscópio;



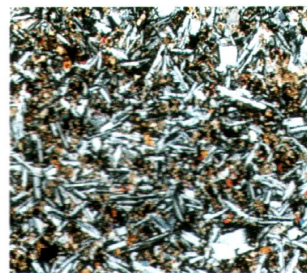
c) Esquema da lâmina vista ao microscópio.

☛ **Afaníticas** –

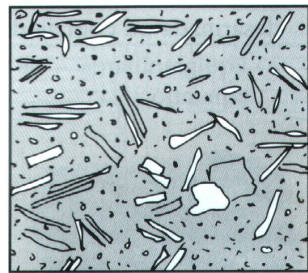
rochas constituídas por grãos só visíveis ao microscópio.



a) Amostra de mão;



b) Lâmina vista ao microscópio;



c) Esquema da lâmina vista ao microscópio.

Todas as imagens foram adaptadas de Moreira, 1999

* COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Uma das formas que os geólogos têm de identificar as rochas é estudando os diferentes materiais que as constituem – *MINERAIS*.

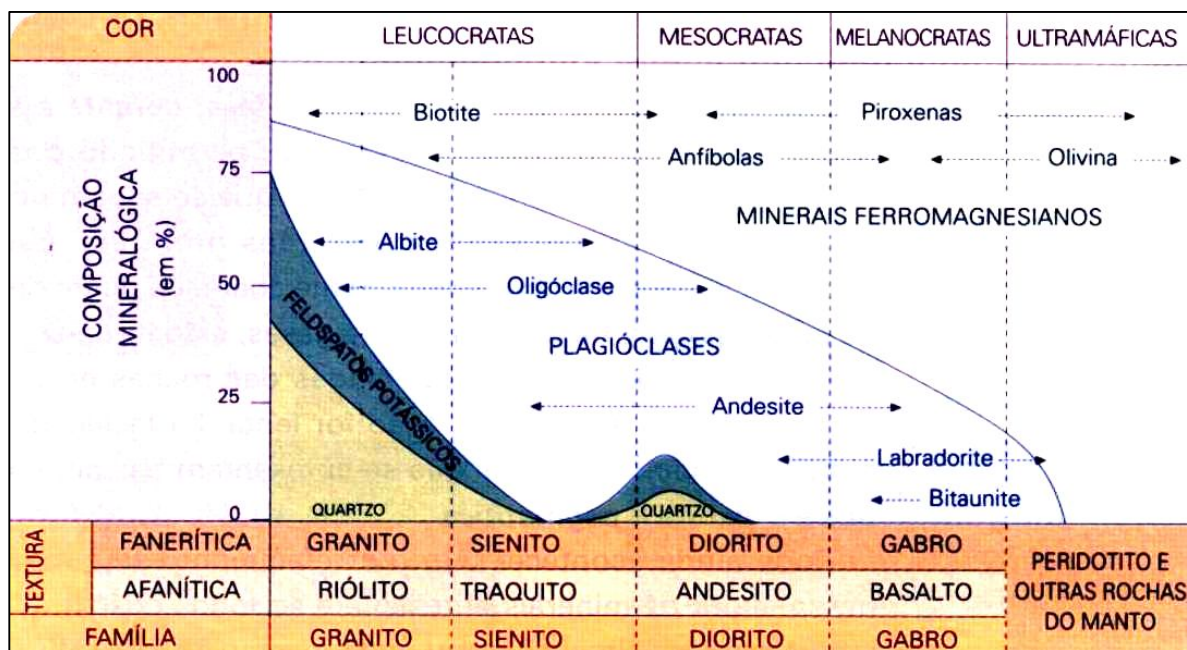


Imagem adaptada de Silva *et al*, 2000

☛ De acordo com a forma dos cristais, podemos classificá-los em:

- Euédrico – totalmente limitado por faces bem desenvolvidas.
- Subeuédrico – apresenta parcialmente faces bem desenvolvidas.
- Anédrico – não apresenta qualquer tipo de faces.

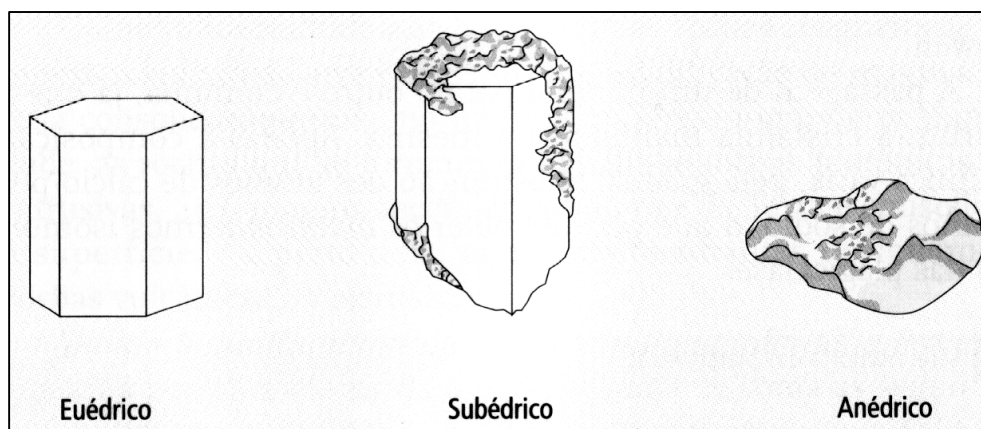


Imagem adaptada de Dias, 2004

➡ Formação de cristais:



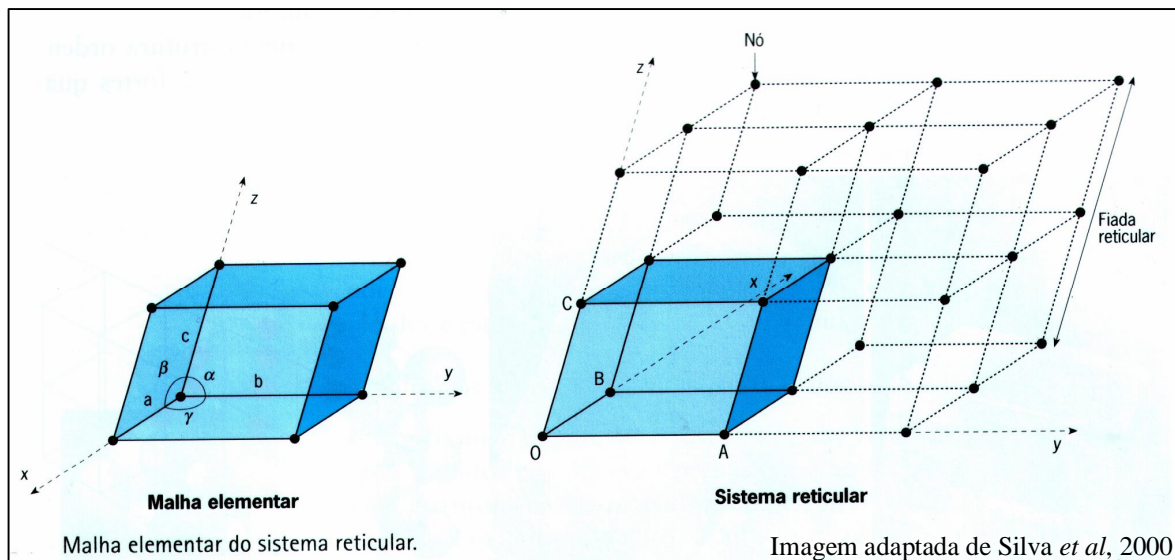
Factores externos que condicionam a cristalização:

- a agitação do meio em que se encontram;
- o tempo;
- o espaço disponível
- a temperatura



Factores internos

A estrutura cristalina implica uma disposição ordenada dos átomos ou iões, que formam uma rede tridimensional que segue um modelo geométrico regular e característico de cada espécie mineral.



Cristal – sistema reticular cujos elementos geométricos são:

- Nós – partículas elementares;
- Fiadas – alinhamentos de partículas em direcções definidas por 2 nós consecutivos e iguais;
- Planos reticulares – planos definidos por duas fiadas não paralelas

As propriedades de um cristal são condicionadas pela organização espacial das suas partículas, pela natureza química dessas partículas, pelas proporções em que se encontram na rede e pelas forças de ligação que mantêm as partículas em oscilação em torno das suas posições de equilíbrio.

SILICATOS – Aproximadamente 95% do peso e do volume da crosta terrestre são formados por minerais pertencentes ao grupo dos silicatos.

→ **Unidade Básica** – Tetraedros $(\text{Si O}_4)^{4-}$

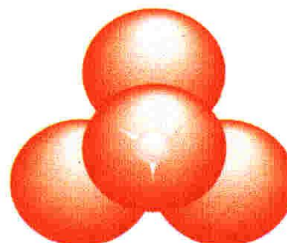
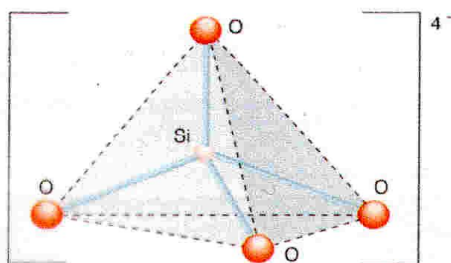


Imagem retirada de Pedrosa, 2000

- Geralmente têm tendência para se polimerizar, isto é para se ligar uns aos outros de modo a formarem conjuntos complexos, constituídos por grande quantidade de tetraedros.

Silicatos	Estruturas cristalinas		Minerais
Neossilicatos			Andaluzite Estaurolite Olivina Granada
Sorossilicatos			Epídoto
Ciclossilicatos			Berilo
Inossilicatos			Piroxenas (augite) Anfíbolas (Horneblenda)
Filossilicatos			Moscovite Biotite Minerais de argila
Tectossilicatos			Quartzo Feldspatos

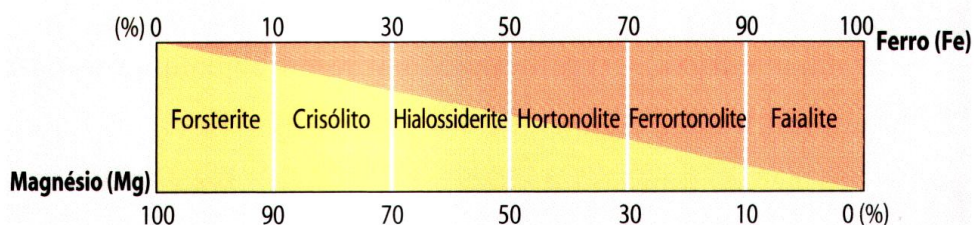
Adaptado de Silva, 1994

ISOMORFISMO - POLIMORFISMO

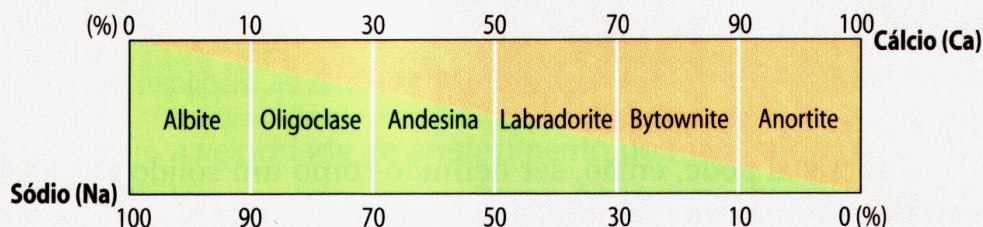
Durante muito tempo pensou-se que os minerais ficariam caracterizados pela composição química e pela sua estrutura interna, que seria única. Contudo, após o estudo de diversos minerais, chegou-se à conclusão que isso não se verifica para a totalidade dos minerais.

Isomorfismo – característica de algumas substâncias que, embora quimicamente diferentes, apresentam estrutura interna idêntica e formas externas semelhantes.

As olivinas são minerais isomorfos cuja composição química varia entre a composição da forsterite, Mg_2SiO_4 , e a composição da faialite, Fe_2SiO_4 .

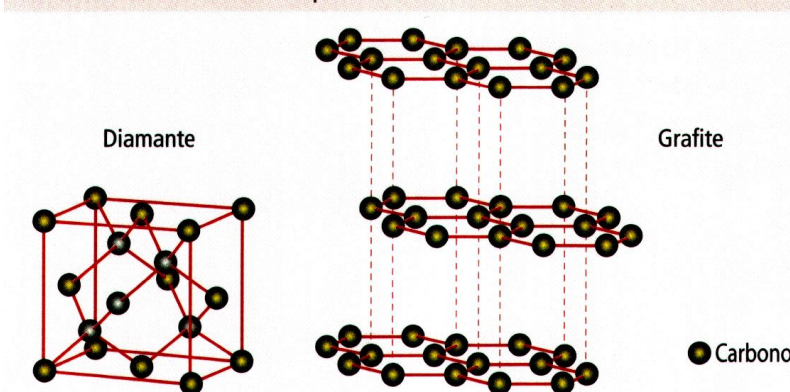


Série isomorfa das plagioclases.



Polimorfismo – característica de algumas substâncias que têm a mesma composição química, mas apresentam redes cristalinas diferentes.

Estrutura cristalina de minerais polimorfos.



As imagens foram adaptadas de Dias *et al*, 2004

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ROCHAS

Cerca de 96% dos elementos químicos da crosta são:

Si, O, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe e H

Óxidos	Crosta Continental (em %)	Crosta Oceânica (em %)
SiO ₂	60	50
Al ₂ O ₃	16	17
Fe ₂ O ₃ , FeO	7	9
MgO	4	7
CaO	5	12
Na ₂ O	4	3
K ₂ O	3	0,4

O óxido mais abundante é SiO₂, sendo ele que condiciona, fundamentalmente, o tipo de rocha magmática.

ROCHAS / MAGMAS	% em SiO ₂ (SÍLICA)
Ácidas	> 70%
Intermédias	50 – 70%
Básicas	45 -50%
Ultrabásicas	<45%

Características dos principais tipos de magmas

	MAGMA BÁSICO	MAGMA INTERMÉDIO	MAGMA ÁCIDO
ORIGEM	Manto	Fusão parcial da crosta oceânica em zonas de subducção	Crosta Continental
VISCOSIDADE	Baixa	Intermédia	Alta
PONTO DE FUSÃO	Alto (≈1200°C)	Intermédio (≈1000°C)	Baixo (≈800°C)
TEOR EM ÁGUA	1% – 2%	5% - 10%	10% - 15%
TEOR EM SÍLICA %	Baixo (≤50)	Intermédio (50 - 70)	Alto (≥70)

AMBIENTES TECTÔNICOS NOS QUAIS OCORRE FORMAÇÃO DE MAGMAS

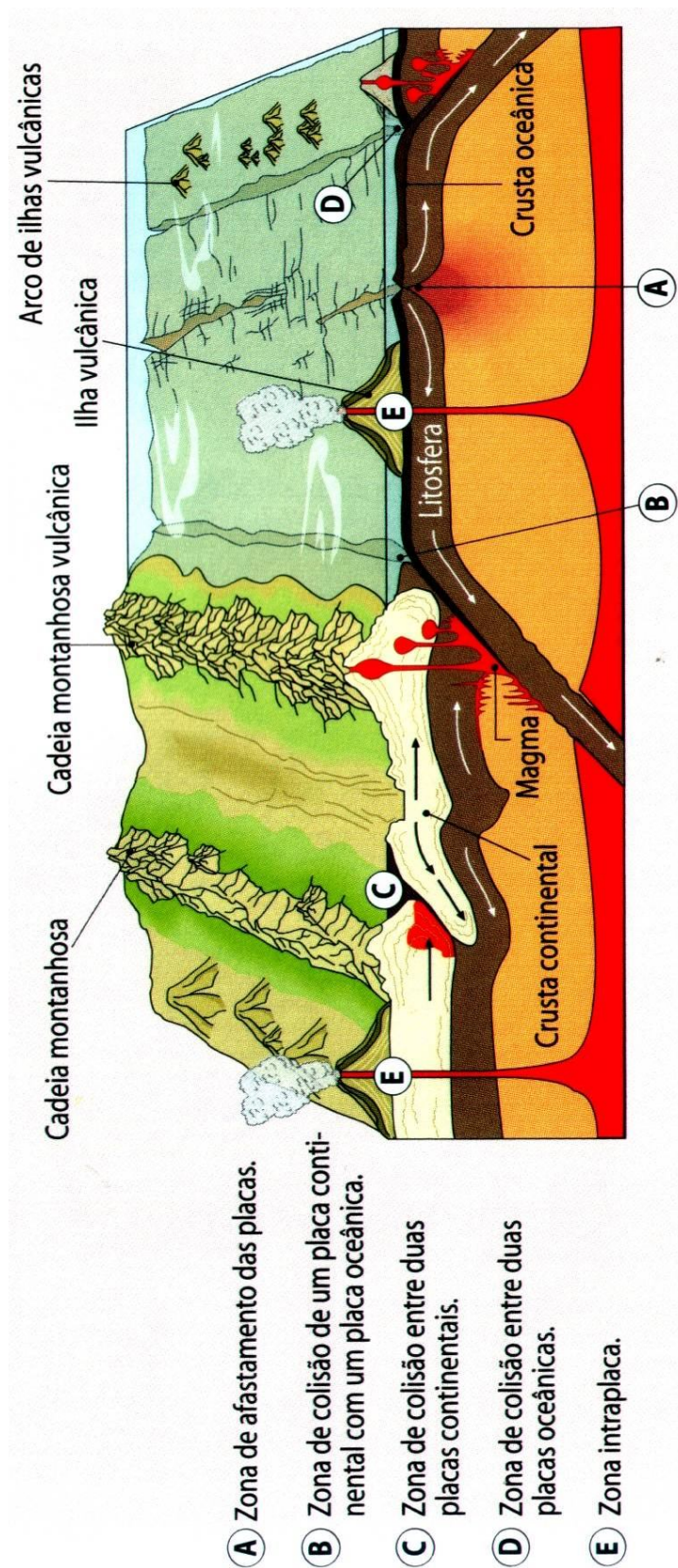


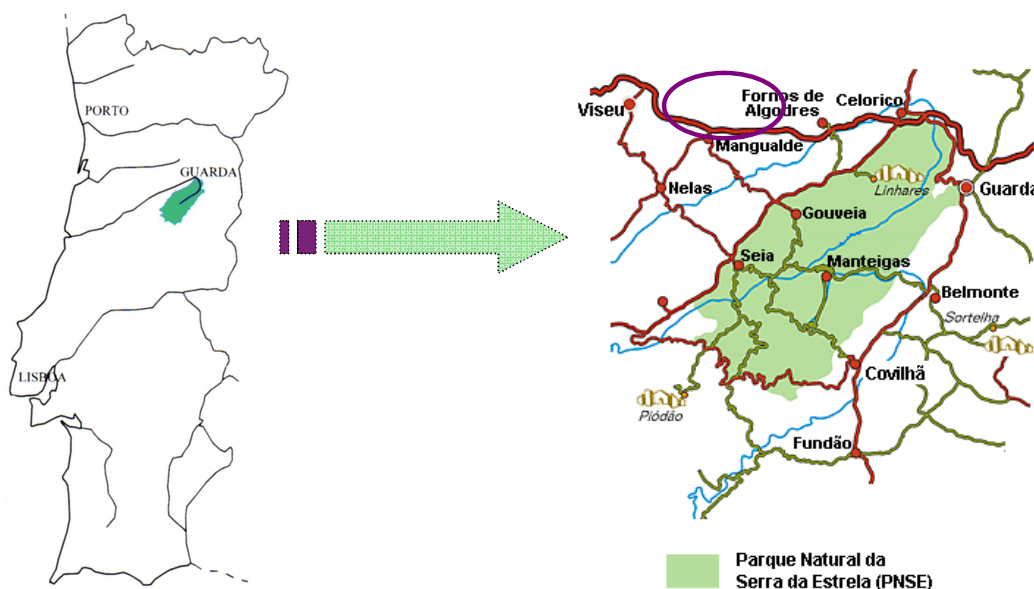
Imagem adaptada de Dias, 2004

ANEXO D

Guias a Utilizar nas Saídas de
Campo

GUIA DE CAMPO

Saída de Campo à zona de Mangualde



A zona que vamos visitar permite-nos ter acesso a alguns aspectos típicos do ambiente magmático.

As actividades propostas para cada uma das paragens devem ser desenvolvidas com o teu grupo de trabalho e em colaboração com o professor da disciplina que te acompanha. Neste guião, para as diferentes questões de exploração que são propostas para cada paragem, existe um espaço onde poderás anotar tudo o que achares importante e colocar todas as dúvidas e questões que surjam ao longo desta viagem e que gostarias de discutir posteriormente. Para além dos esquemas que te serão pedidos, podes também tirar fotografias aos aspectos que achares mais importantes.

Nas paragens seleccionadas presta também atenção à intervenção do Homem nas paisagens que o rodeiam.

Nome: _____ Nº _____ Turma _____



Extracto da Carta Militar de Portugal – Folha 190 Mesquitela (Mangualde) – Instituto Geográfico do Exército

Paragem nº 1: Estrada 615, junto à ponte sobre a Ribª de Ludares, à entrada de Quintela de Azurara.

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Tendo em conta o que estudaste nesta disciplina, observa o local onde te encontras e refere:

a rocha predominante no local. _____

como poderás classificar a rocha que aqui predomina:

- quanto à cor. _____
- quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____
- quanto ao tamanho do grão. _____

Quais os minerais que consegues identificar na rocha que assinalaste em 4.1.

5. Faz um esquema do aspecto da rocha a que se refere a questão 4.

6. Para além da rocha que caracterizaste em 4., existe no local uma rocha de aspecto diferente. Caracteriza também esta outra rocha:

quanto ao nome. _____

quanto à cor. _____

quanto à textura. _____

quanto ao tamanho do grão. _____

7. Faz um esquema do aspecto da rocha a que se refere a questão 6.

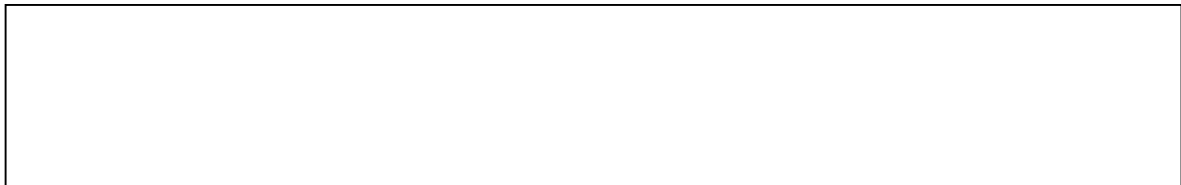
8. Para além destes dois tipos de rochas, poderás também encontrar um outro tipo, de aspecto mais escuro, a que chamamos de encraves máficos. Procura aspectos semelhantes aos das seguintes fotografias (1 e 2).



Como poderás caracterizar os encraves:

- quanto à cor. _____
- quanto à textura. _____
- quanto ao tamanho do grão. _____
- quanto à forma que apresentam. _____

Faz um esquema dos vários encraves que encontraste, não te esquecendo de legendar os esquemas.



9. Como podes observar nesta fotografia (3), existem imensos minerais idênticos ao que está assinalado ao lado com um círculo preto.

Identifica o mineral.



Caracteriza o mineral tendo em atenção aspectos como: forma, tamanho, cor...

Observa atentamente como se encontram dispostos estes minerais, principalmente nas zonas de contacto. Faz um esquema do que observaste.

Neste local podes encontrar aspectos semelhantes aos da fotografia anterior (3), em que as várias rochas contactam uma com a outra. Procura encontrar aspectos semelhantes e esquematiza-os, não te esquecendo de os legendar.

Tendo em conta o que observaste e utilizando uma cronologia "relativa", procura situar temporalmente os acontecimentos observados. Não te esqueças de justificar a tua resposta.

10. Um outro aspecto que pode ser observado neste local é as "marmitas de gigante" (fotografia 4). Sugere uma explicação para a origem destas estruturas.



Paragem nº 2: Estrada 329-1 entre o km 4 e 5, junto a uma curva bastante apertada.

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Observa o local onde te encontras e refere:

4.1. a rocha, de cor mais clara, que predomina no local. _____

4.2. como poderás classificar esta rocha a:

- quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____

- quanto ao tamanho do grão. _____

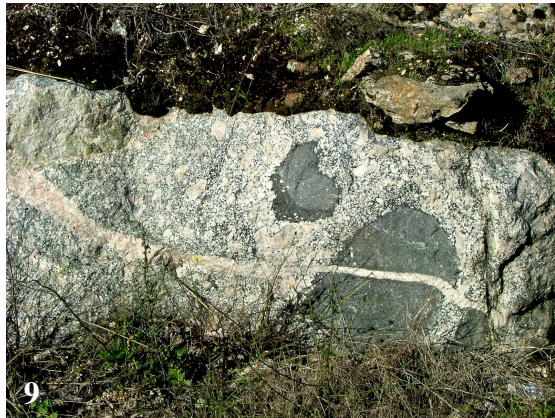


4.3. Quais os minerais que consegues identificar na rocha que assinalaste em 4.1. _____

5. Faz um esquema do aspecto da rocha a que se refere a questão 4.

6. Para além da rocha que descreveste anteriormente e que se encontra representada na fotografia 5, na zona em que te encontras podes identificar vários encraves máficos com diversas tonalidades, bem como áreas em que a rocha adquire tonalidades intermédias entre o mais escuro e o mais claro. Alguns exemplos estão representados nas seguintes fotografias (6, 7, 8, 9 e 10).





6.1. Localiza os aspectos referidos na questão 6 e faz esquemas do que observaste, não te esquecendo de legendares cada um dos esquemas.

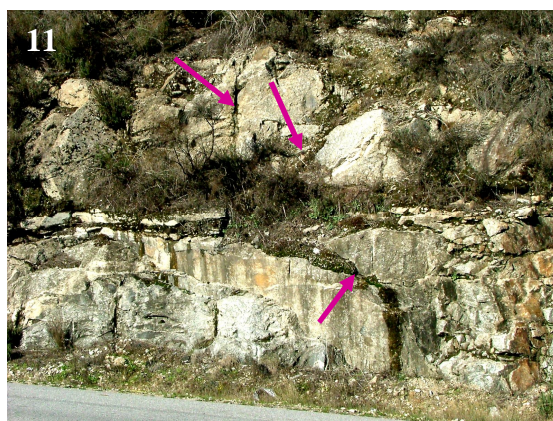


6.2. Para cada uma das diferentes zonas que encontraste nesta paragem (que apresentam tonalidades, granulometria e aspectos variados), tenta descrever as características principais de cada uma delas.

6.3. Refere como é que estes diferentes tipos de rochas se encontram uns em relação aos outros.

6.4. Formula uma hipótese que explique o aparecimento de estruturas como as que acabaste de observar.

7. Neste afloramento podes verificar que a rocha se encontra fracturada em blocos mais pequenos. Nas fendas entre os vários blocos facilmente encontras pequenos depósitos de sedimentos e plantas que aí se instalaram).

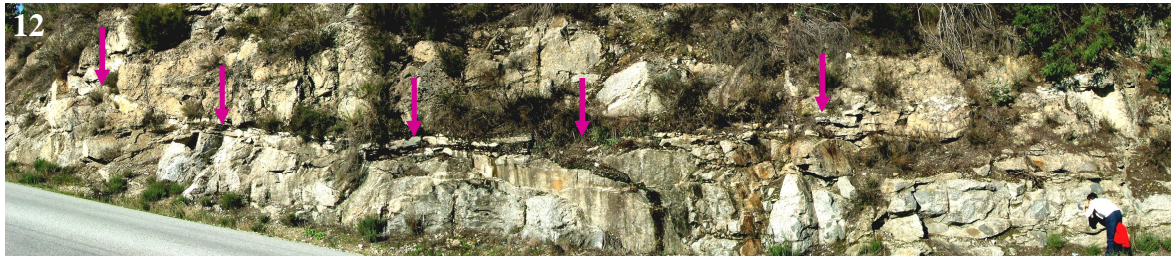


7.1. Indica como se designam essas fendas. _____

7.2. Esquematiza as observações que efectuaste.

7.3. Ao observares cuidadosamente a rocha, podes verificar que a tonalidade das zonas mais próximas das fendas é diferente da tonalidade da rocha nas zonas mais afastadas. Do mesmo modo, a tonalidade da zona mais alta da barreira de estrada também é diferente da tonalidade das zonas mais próximas da estrada. Procura uma explicação para este facto.

8. Se observares com atenção toda a zona do afloramento, poderás visualizar uma outra estrutura praticamente horizontal que o percorre e que se encontra assinalada na figura seguinte.



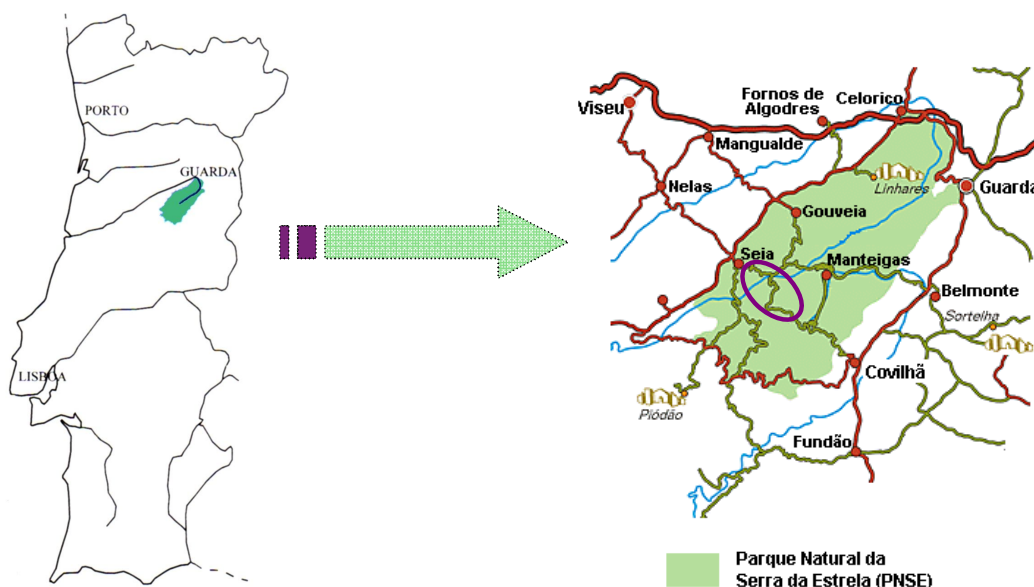
8.1. Como se designa essa estrutura. _____

9. Se te virares para o lado contrário ao do afloramento, numa cota inferior ao local onde te encontras, encontrarás uma antiga estrada. Se te deslocares até lá, certamente encontrarás perturbações resultantes da acção do Homem. Descreve o que observaste.

No seguinte espaço podes fazer anotações relativas a aspectos que consideras relevantes.

GUIA DE CAMPO

Saída de Campo à zona da Lagoa Comprida

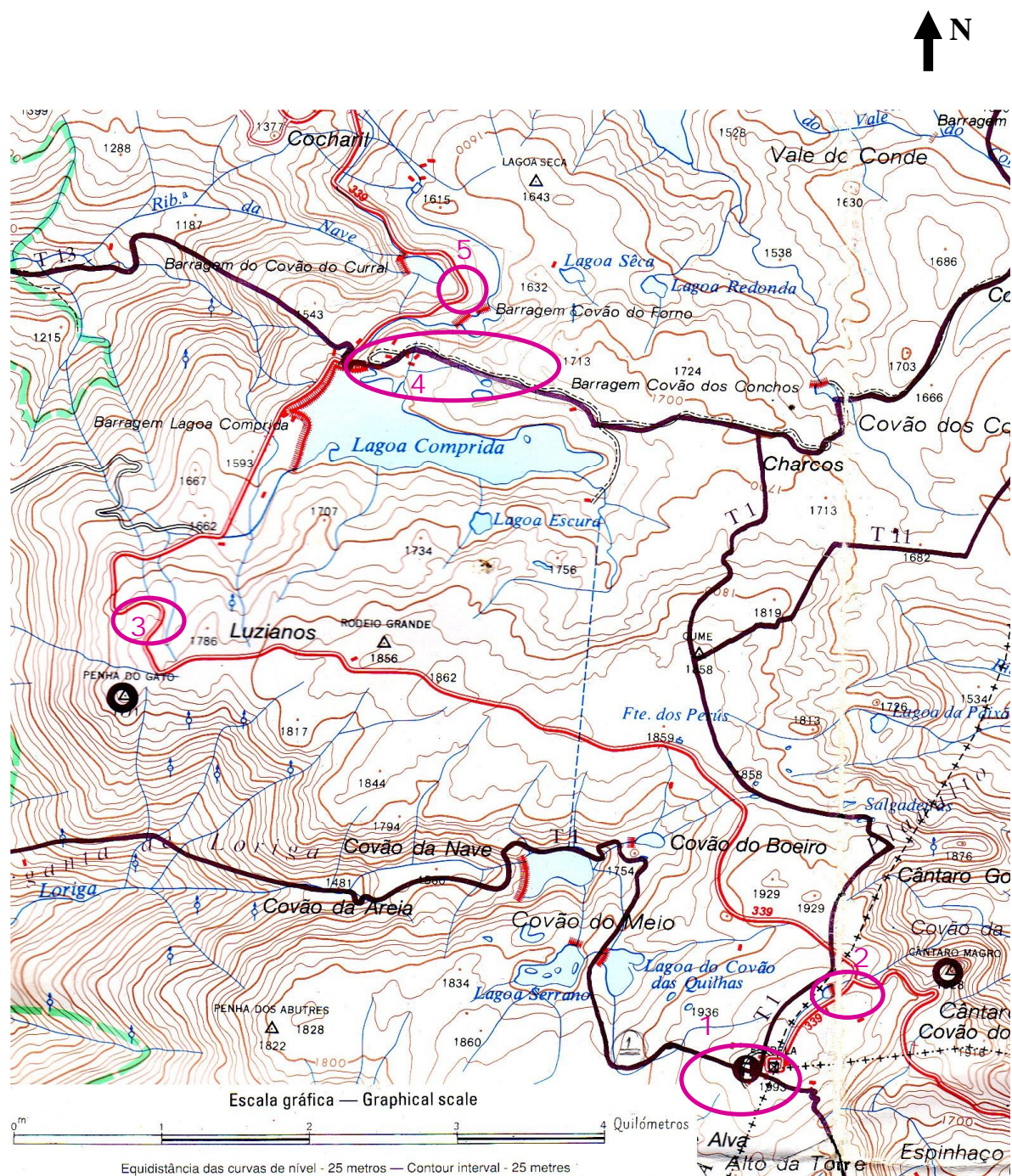


A zona que vamos visitar permite-nos ter acesso a alguns aspectos típicos do ambiente magmático.

As actividades propostas para cada uma das paragens devem ser desenvolvidas com o teu grupo de trabalho e em colaboração com o professor da disciplina que te acompanha. Neste guião, para as diferentes questões de exploração que são propostas para cada paragem, existe um espaço onde poderás anotar tudo o que achares importante e colocar todas as dúvidas e questões que surjam ao longo desta viagem e que gostarias de discutir posteriormente. Para além dos esquemas que te serão pedidos, podes também tirar fotografias aos aspectos que achares mais importantes.

Nas paragens seleccionadas presta também atenção à intervenção do Homem nas paisagens que o rodeiam.

Nome: _____ Nº _____ Turma _____



Paragem nº 1: Planalto da Torre, Serra da Estrela. EN 339-1. Torre

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Realiza um pequeno passeio a pé, para SE, e observa atentamente a paisagem.
5. Tendo em conta o que estudaste nesta disciplina, observa o local onde te encontras e refere:

5.1.a rocha predominante no local. _____

5.2.como poderás classificar a rocha que aqui predomina:

- quanto à cor. _____

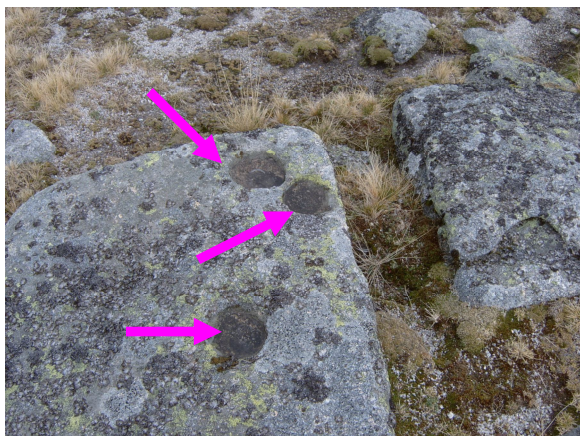
- quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____

- quanto ao tamanho do grão. _____

5.3.Quais os minerais que consegues identificar na rocha que assinalaste em 5.1.

6. Faz um esquema do aspecto da rocha a que se refere a questão 5.

7. Em relação aos aspectos morfológicos dessa zona, certamente que encontrarás aspectos semelhantes aos representados na figura seguinte e que se designam de *Gnammas*.



- 7.1.Procura aspectos semelhantes a este e faz esquemas do que encontraste.

7.2. Apresenta uma hipótese explicativa para a ocorrência das *Gnammas*.

8. Ainda nesta zona se olhares atentamente para o monte que se encontra a SE, poderás verificar que morfologicamente ele apresenta estruturas de declive acentuado ao longo da vertente, a que chamamos de linhas de água.



8.1. Sugere uma explicação para a origem destas estruturas.

Paragem nº 2: Estrada 339, junto ao cruzamento para Manteigas

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Observa o local onde te encontras e refere se a rocha, de cor mais clara, que existe no local tem características idênticas à que observaste na paragem 1. _____
- 4.1. Que características são essas?

5. Em termos morfológicos, facilmente encontrarás aspectos idênticos aos da figura ao lado, em que existem fracturas mais ou menos horizontais e não muito distantes umas das outras.



- 5.1. Faz um esquema de uma das zonas em que te pareceu serem mais visíveis estes aspectos.

6. Do outro lado da estrada certamente encontrarás uma rocha com características diferentes da rocha que classificaste anteriormente. Observa-a atentamente e refere:

6.1. o nome da rocha em questão. _____

6.2. como poderás classificar a rocha que aqui predomina:

- quanto à cor. _____

- quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____

- quanto ao tamanho do grão. _____

6.3. Quais os minerais que consegues identificar na rocha que assinalaste em 6.1.

7. Faz um esquema do aspecto da rocha a que se refere a questão 6. Não te esqueças de o legendar.

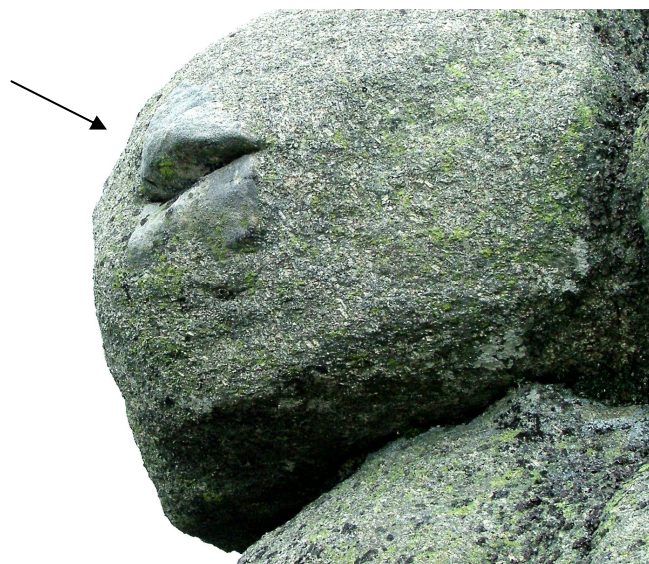
8. Se de um lado da estrada tens um tipo de rocha e do outro lado da estrada tens um tipo de rocha diferente, indica que zona deverá estar encoberta por debaixo da estrada. Justifica. _____

Paragem nº 3: Estrada 339, Km20,5. (Curva apertada)

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Observa o local onde te encontras e refere se a rocha, de cor mais clara, que existe no local tem características idênticas à que observaste anteriormente. _____

Com qual das rochas ela é mais parecida?

5. Para além deste tipo de rocha, poderás também encontrar outro tipo, de aspecto mais escuro e de grão mais fino, a que chamamos de encraves máficos. Procura o encrave máfico representado na seguinte fotografia.



Como poderás caracterizar o encrave:

- quanto à cor. _____
- quanto à textura. _____
- quanto ao tamanho do grão. _____
- quanto à forma que apresentam. _____

Refere uma hipótese explicativa para o facto de esta rocha de cor mais escura se encontrar englobada por outra de cor mais clara.

Paragem nº 4: EN 339 – Km18,2. Lagoa Comprida

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Seguindo ao longo da vertente norte da albufeira, a cerca de 300m do posto de venda de produtos regionais encontrarás à tua esquerda uma abertura de uma pedreira que era utilizada na exploração de rocha para a construção da barragem.
 - 4.1. Observa o local onde te encontras e refere a rocha predominante no local. _____
 - 4.2. Como poderás classificar esta rocha:
 - quanto à cor. _____
 - quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____
 - quanto ao tamanho do grão. _____
 - 4.3. Quais os minerais que consegues identificar na rocha que assinalaste em 4.1. _____

5. Neste afloramento podes verificar que a rocha se encontra fracturada em blocos mais pequenos. Nas fendas entre os vários blocos facilmente encontras pequenos depósitos de sedimentos.

5.1. Indica como se designam essas fendas. _____

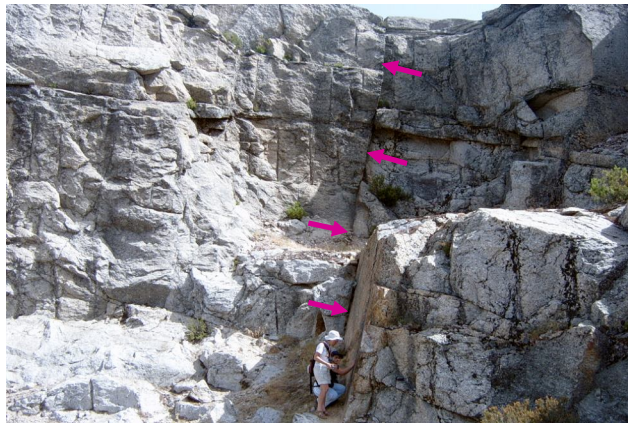
5.2. Refere uma hipótese explicativa para a formação destas estruturas



6. Ao observares cuidadosamente a rocha, podes verificar que a tonalidade das zonas mais elevadas do afloramento é diferente da tonalidade da rocha nas zonas mais baixas, verificando-se que a rocha com aspecto mais fresco se encontra a maior profundidade. Procura uma explicação para este facto.

6.1. Esquematiza as observações que efectuaste. Não te esqueças de legendar o teu esquema.

7. Para além dos aspectos já referidos, neste afloramento podes ainda verificar a existência de uma outra estrutura praticamente vertical, que o atravessa e se encontra assinalada na fotografia ao lado.



7.1. Como se designa essa estrutura.

8. Á entrada desta pedreira abandonada poderás notar uma mudança de cor no granito envolvente. Gradualmente o granito sofre uma transição para tons de vermelho. Estes granitos sofreram epissienitização.

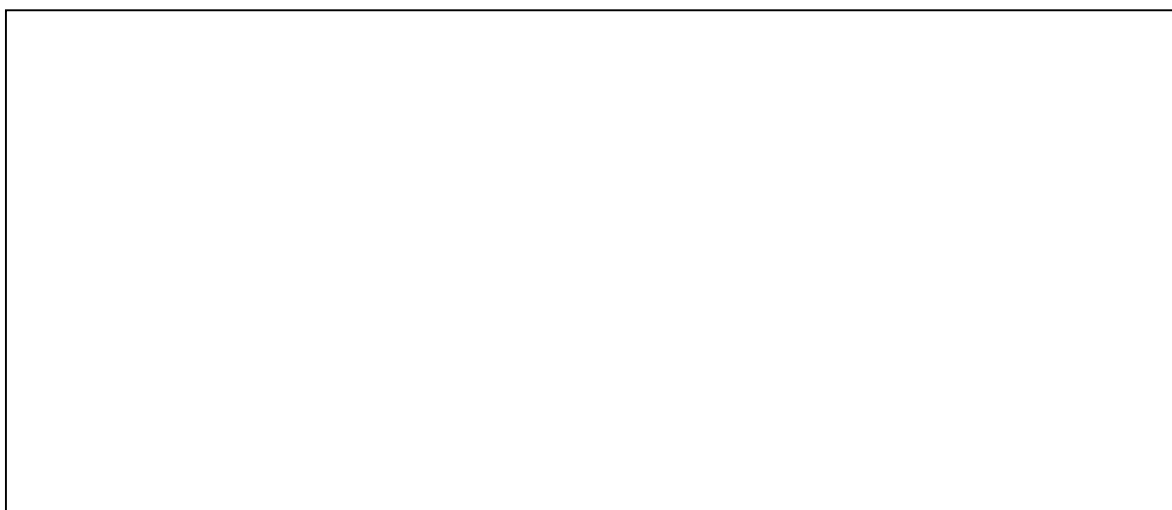
Nota: A epissienitização dos granitos parece corresponder a um processo magmático tardio, em que o granito já cristalizado é afectado pela intensa circulação de fluidos tardi-magmáticos, que ao circular nas fracturas, provoca alterações profundas na composição mineralógica da rocha.

8.1. Como poderás classificar esta rocha:

- quanto à cor. _____
- quanto à textura (afanítica ou fanerítica). _____
- quanto ao tamanho do grão. _____

8.2. Quais os minerais que consegues identificar na rocha referida.

9. Se continuares a seguir o percurso facilmente encontrarás uma zona com bastante abundância de encraves máficos. Esquematiza alguns dos que encontraste, não de esquecendo de referir as suas principais características, bem como as da rocha envolvente.



Paragem nº 5: EN 339 – Km17,1. Pedreira do Covão do Curral

1. Anota a hora de chegada a esta paragem. _____
2. Orienta a carta topográfica que te foi fornecida, com a ajuda da bússola.
3. Localiza e assinala, na carta topográfica, a paragem onde te encontras.
4. Nesta pedreira abandonada facilmente identificarás a existência de dois tipos bem distintos de rochas (uma de tonalidade mais escura e outra de tonalidade mais clara)
 - 4.1. Caracteriza cada um destes tipos de rocha, não te esquecendo de as classificar quanto à cor, à textura e ao tamanho do grão.

5. Como deves ter verificado as rochas de cor mais escura correspondem a encraves máficos com diversas tonalidades, bem como áreas em que a rocha adquire tonalidades intermédias entre o mais escuro e o mais claro. Alguns exemplos estão representados nas seguintes fotografias



5.1. Localiza os aspectos como os referidos na questão 5 e faz esquemas do que observaste, não te esquecendo de legendares cada um dos esquemas.

5.2. Para cada uma das diferentes zonas que encontraste nesta paragem (que apresentam tonalidades, granulometria e aspectos variados), tenta descrever as características principais de cada uma delas.

5.3. Refere como é que estes diferentes tipos de rochas se encontram uns em relação aos outros.

5.4. Formula uma hipótese que explique o aparecimento de estruturas como as que acabaste de observar.

No seguinte espaço podes fazer anotações relativas a aspectos que consideras relevantes.

ANEXO E

Actividades a Desenvolver
Após a Saída de Campo

FICHA DE TRABALHO – Processos magmáticos – Evolução de Magmas

O magma original, que se forma por fusão das rochas, sofre modificações durante a sua ascensão e no processo de consolidação. Os três mecanismos elementares de evolução de magmas são: **cristalização fraccionada**, **assimilação** e **hibridação (mistura de magmas)**. Estes três processos podem dar-se conjuntamente.

1. CRISTALIZAÇÃO FRACCIONADA

A composição química do magma varia à medida que os minerais vão cristalizando. O magma fica mais pobre nos compostos químicos que lhe são retirados e enriquece relativamente ao resto dos componentes químicos.

O cientista que primeiro compreendeu a importância da diferenciação magmática foi Bowen (1887-1956), nos princípios do séc. XX. Bowen investigou a formação dos cristais e, em especial, a ordem pela qual eles cristalizam em magmas em arrefecimento que, devido a essa cristalização vão variando de composição. Em trabalhos laboratoriais, estabeleceu a sequência de reacções que ocorrem no magma durante a diferenciação.

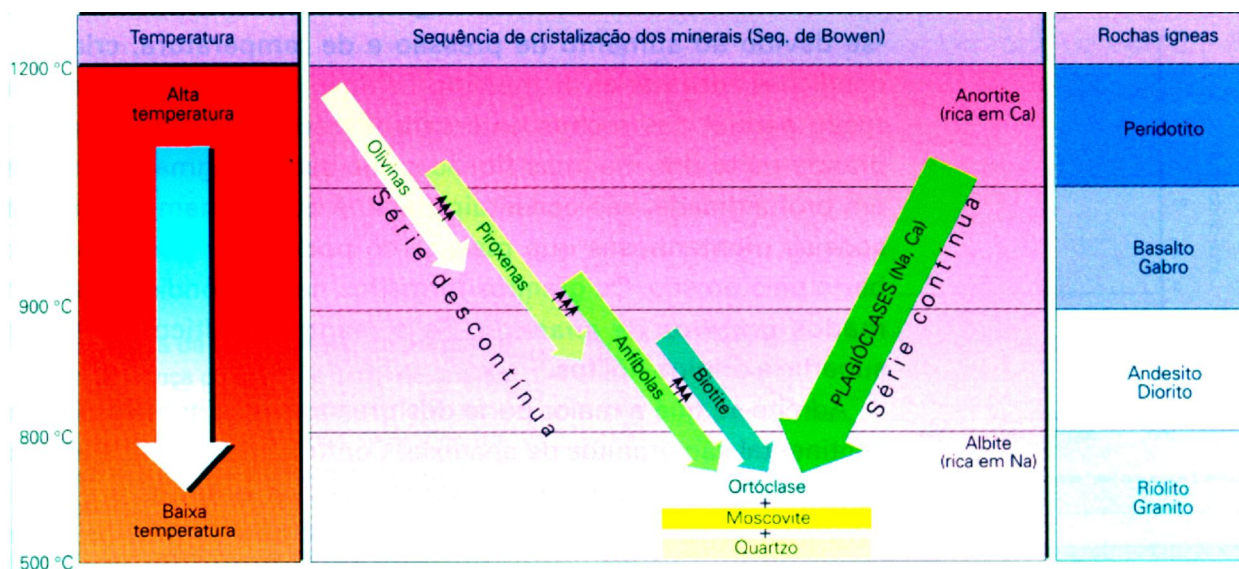


Imagem adaptada de Silva, 2004

Sabendo que tendem a cristalizar em conjunto minerais que se situam no mesmo nível de temperatura, indica quais as associações de minerais mais previsíveis.

É pouco provável que num basalto ocorra quartzo. Justifica esta afirmação.

Indica qual a composição mineralógica mais provável num granito.

Nas rochas magmáticas que contêm quartzo, este parece ocupar o espaço deixado pelos restantes minerais que as constituem. Explica este facto.

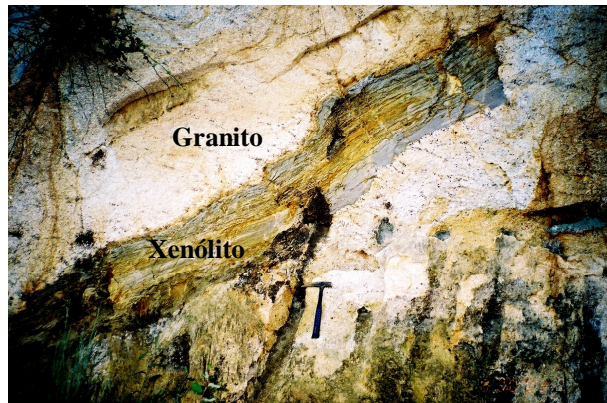
2. ASSIMILAÇÃO

É a fusão e incorporação de materiais encaixantes no magma primitivo. Este processo depende das condições das rochas encaixantes, da temperatura do magma e do mecanismo de instalação.

Para a fusão de rochas frias e com poucos voláteis é necessário uma grande perda de calor por parte do magma, o que pode provocar a sua rápida cristalização. Em zonas mais profundas, as rochas que se encontram em condições de maior temperatura e são mais ricas em voláteis, podem fundir rapidamente. O grau de assimilação será tanto maior quanto mais lenta for a ascensão do magma.

Os magmas com origem na fusão de rochas do manto podem incorporar na sua ascensão materiais de origem mantélica ou crustal.

Chamam-se **xenólitos** às rochas que foram incorporadas no magma mas não sofreram fusão completa.



3. HIBRIDACÃO E MISTURA DE MAGMAS

Entende-se por hibridação a mistura de dois ou mais magmas. A hibridação pode ser um processo mais ou menos local, entre duas massas perfeitamente identificáveis que se misturam numa determinada área, ou podem ter um carácter mais generalizado, quando a massa que se estuda procede de diferentes protólitos que se misturaram



em profundidade e que evoluíram como um único magma. Diz-se então que o magma tem uma origem híbrida (Ex. matélica e crustal).

Quanto maior a fluidez dos magmas, temperatura e tempo de reacção, mais facilmente ocorrerá a mistura completa dos magmas. Quando a mistura de magmas não é completa, podem formar-se encraves máficos.

As rochas ígneas mais abundantes, na crosta continental, são as rochas graníticas. Poderá este facto explicar-se por processos de cristalização fraccionada a partir de um magma básico?

É razoável pensar que os magmas ácidos podem facilmente hibridizar com magmas básicos? Justifica.

